И. В. Назаров

Методология геологического исследования

ОГЛАВЛЕНИЕ

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ

И. В. НАЗАРОВ

МЕТОДОЛОГИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Ответственный редактор
д-р геол.-мин. наук *П. А. Шехтман*

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
Новосибирск · 1982

Назаров И. В. Методология геологического исследования. —Новосибирск: Наука, 1982.

Книга посвящена философскому анализу методов геологического исследования. Рассматривается система общенаучных методов, своеобразие которой определяется особенностями объекта познания, задачами и уровнем развития геологии. Анализируются философские основы, гносеологические возможности и специфика применения в этой науке таких методов, как наблюдение, эксперимент, актуализм, гипотеза, моделирование, математические, исторический и др. Выясняются взаимосвязи этих методов с материалистической диалектикой, перспективы их применения. Обосновывается вывод об эмпирическом уровне развития геологии и рассматриваются пути перехода ее к теоретическому уровню.

Книга рассчитана на геологов и исследователей, занимающихся методологией научного познания.

Н $\frac{0302020100-839}{042(02)-82}$ 204—82, кн. 1

ВВЕДЕНИЕ

В современную эпоху научно-технической революции резко возрастает роль науки, которая все более превращается в непосредственную производительную силу общества. Бурное развитие науки, усложнение ее задач приводит к тому, что наука все чаще обращается к анализу своих теоретико-познавательных оснований, структуры, языка, основных методов исследования. Это становится особенно необходимым в те периоды ее развития, когда усложняющиеся практические задачи не могут быть решены существующими методами и накапливаются новые факты, требующие теоретического объяснения и приведения в единую систему.

Основные тенденции развития естествознания, характерные и для геологии, — бурный рост количества информации, дифференциация и интеграция знания, математизация, увеличение роли теоретических разделов — делают анализ методологических проблем особенно актуальным. Решение многих теоретических и практических проблем наук о природе, выяснение их роли, законов и перспектив развития, взаимосвязи с другими науками в значительной степени зависят от прогресса в разработке их методологических основ.

Методологические вопросы геологии, а также других наук о Земле разработаны недостаточно, скорее можно говорить о постановке и первых шагах по пути их решения. Объясняется такое положение рядом причин, в первую
разделов науки. Как известно, методологические проблемы науки тесно связаны именно с кардинальными, теоретическими ее вопросами. А наиболее общие, теоретические вопросы геологии пока не решены, основные

положения ее являются эмпирическими обобщениями и гипотезами. Обусловлено это, во-первых, сложностью объекта исследования, многообразием геологических процессов. Они же обусловлены действием различных форм движения материи — физической, химической и биологической, причем это действие совместное и взаимосвязанное. Многие геологические процессы вызваны рядом причин, и поэтому геологические науки, изучающие, как правило, лишь следствия, результат действия природных сил, не всегда имеют возможность восстановить общую картину и достоверно установить закономерности этих процессов.

Во-вторых, причину и движущие силы многих геологических процессов (магматизм, тектогенез, рудообразование и др.) исследователи видят в процессах, происходящих в подкоровых зонах Земли. Геологически же изучена только верхняя часть земной коры, что, естественно, недостаточно для решения многих общих проблем наук о Земле. В условиях эксперимента трудно и зачастую невозможно воссоздать ход и особенности многих геологических процессов, выяснить их закономерности.

В-третьих, такое положение объясняется и недостаточностью усилий естествоиспытателей в решении теоретических проблем геологии, недооценкой практического значения теории для изучения геологических процессов, эффективности теоретических рекомендаций. Было бы, вероятно, ошибочным преувеличивать сложность геологических объектов, видеть в ней главную причину отсутствия строгих теорий в геологии, ибо проблемы молекулярной биологии, генетики, освоения космоса, где достигнуты значительные успехи и установлены многие закономерности, отнюдь не доступнее и не проще, чем геологические. Здесь сыграло роль относительное изобилие в земной коре доступных месторождений полезных ископаемых, открытие которых не требовало развитой теоретически науки.

Общий уровень геологии можно охарактеризовать как эмпирический: вскрываются в основном простые, качественные связи объектов познания. В то же время в геологических науках можно отчетливо проследить все основные тенденции развития современного естествознания. Так, в них происходит быстрое накопление

информации, новых данных, обобщений. Это приводит к ломке старых, часто привычных понятий, к отбрасыванию устаревших положений. Общий объем информации в геологии удваивается в среднем через каждые 8—10 лет [75, с. 5]. Число ежегодно выпускаемых в мире публикаций по геологии достигает 50 тысяч, а количество неопубликованных геологических документов, создаваемых ежегодно и учитываемых информационной службой нашей страны, близко 35 тысячам [88]. Расширение объема информации обусловлено быстрым развитием аналитических и геофизических методов, значительно увеличивающих число характеристик геологических объектов, а также ростом производительности труда в сфере сбора информации.

Необходимо подчеркнуть, что в геологии не только растет объем информации, но и само исследование становится все более глубоким, направленным на выяснение внутренней основы природных процессов и установление все более общих закономерностей. Геология из науки, «собирающей» факты, все больше превращается в науку, «объясняющую» их, раскрывающую не только связь природных процессов, но и причины их, механизм действия. С увеличением роли теоретических разделов наука все больше отходит от наглядности и непосредственной очевидности тех или иных положений, а поэтому возрастает значение основных методологических принципов, указывающих общее направление исследования.

Процесс теоретизации науки, создания строгих дедуктивных систем порождает ряд методологических проблем. Так, весьма актуальна проблема математизации геологии. Математический аппарат, в который входят такие мощные средства исследования, как математическая логика, теория вероятностей, математическая статистика, теория множеств, топология, теория информации и др., играет все большую роль в познании законов природы. В геологии делаются попытки формализации основных понятий, выработки нового языка науки. Вопросы принципиальной применимости математики к решению проблем наук о Земле, разработки путей, этапов и перспектив этого применения можно решить только с помощью философии, которая формулирует общие методологические принципы.

Познание сущности геологических процессов, закономерностей развития Земли и земной коры, законов образования и пространственного размещения месторождений полезных ископаемых требует привлечения методов различных, в частности точных, наук к их исследованию. Интенсивно идущие процессы дифференциации и интеграции геологического знания выразились в образовании новых научных дисциплин, пр де всего геофизики и геохимии. Новые науки появляются либо вследствие углубленного изучения объекта, что приводит к его членению, либо в случае применения новых методов познания, либо в результате интеграции вновь возникших и существующих наук. Дифференциация знания есть выражение движения от абстрактного к конкретному, более богатому содержанием. Процесс дифференциации геологии неизбежен и оправдан, ибо он способствует углубленному изучению природных явлений, и в настоящее время исследователь может быть специалистом только в какой-то узкой, определенной области знания. При интеграции — объединении и взаимном проникновении различных наук — образуются такие пограничные науки, как геофизика, биохимия, тектонофизика и т. п. Методы и идеи смежных наук все шире используются в геологии, особенно это характерно для идей и методов физики, химии, кибернетики, математики. Иными словами, взаимодействие естественных наук приобретает эвристический характер, оно все глубже отражает объективное единство природы. Геология изобилует примерами, подтверждающими огромное познавательное значение идей и методов точных наук.

В настоящее время вместо одной науки о Земле — геологии — существует несколько основных наук, а частных, отдельных наук геологического цикла свыше ста. Возникновение новых отраслей знания требует методологического анализа таких проблем, как определение их предмета исследования, взаимосвязи с традиционными науками, основных методов изучения, перспектив развития и многих других.

Эти основные тенденции развития геологии, переход ее на качественно новую основу и выдвигают на первый план необходимость решения методологических проблем. Как известно, выход в область философии,

выполняющей методологическую функцию, становится особенно необходимым в те периоды развития науки, когда она на пути экстенсивного развития в определенной мере исчерпала себя и настоятельно требуется найти новые идеи, принципы для развития новой теории. Потребность осмыслить многие теоретико-познавательные проблемы науки приводит исследователей к наиболее широкой сфере научного знания — философии [128, с. 32]. К современному положению наук о Земле полностью подходят высказывания В. И. Ленина о связи философии и естествознания: «Естествознание прогрессирует так быстро, переживает период такой глубокой революционной ломки во всех областях, что без философских выводов естествознанию не обойтись ни в коем случае» [15, с. 31].

В последнее время в геологическом исследовании находят все большее применение такие научные методы, как эксперимент, моделирование, математические, кибернетические методы, предпринимаются попытки использования системного подхода к изучению природных явлений. Причем эти методы применяются не только как вспомогательное средство для решения тех или иных задач геологии, но зачастую полученные с их помощью данные лежат в основе теоретических построений и являются важнейшим критерием истинности последних. При использовании этих методов часто коренным образом изменяются и сами традиционные методы геологии. Само геологическое исследование становится более точным и глубоким.

Поэтому философский анализ этой системы методов представляется весьма актуальным. Мы полностью согласны с акад. П. Н. Федосеевым, который писал: «Исключительно важным является также философско-методологический анализ наук о Земле. Дело в том, что на современном этапе развития наук о Земле происходит изменение в их методологическом инструментарии» [156, с. 15]. Кроме того, внедрение новых методов в геологическое исследование происходит сложным, противоречивым путем. Нередки высказывания крупных ученых, выражающих сомнение в эффективности применения этих методов к познанию природных объектов.

Обращение к философскому анализу применяемых

методов в настоящее время вполне закономерно. Если на эмпирическом уровне развития науки исследование объектов основано на интуиции, опыте, стихийно выработанных методах, то в дальнейшем наука обращается к самопознанию, к анализу своей структуры и способов движения к новым результатам, в частности к исследованию своих методов познания, выяснению их гносеологических возможностей, разработке новых средств и способов познания. В этих условиях значительно возрастает роль методологии научного познания. Необходимо также выяснение взаимосвязи методов точных наук, а в более широком плане — методов, применяемых во всем естествознании, т. е. общенаучных, с частными, конкретными методами геологии. Как правило, многие общенаучные методы проявляются в геологическом исследовании не в «чистом» виде, а в тесном взаимодействии между собой или своеобразно преломляются в тех или иных частных методах. Так, сравнительный метод исследования применяется в геологии как метод актуализма; наблюдение же, описание, аналогия редко имеют самостоятельное значение, а применяются в любом конкретнонаучном методе.

Не менее важно, исходя из диалектико-материалистической гносеологии, проследить содержание основных методов геологии и взаимодействие с ними диалектического метода, как наиболее общего метода познания. Как же выражается диалектический метод в геологическом исследовании, в чем его особенности, специфика этого выражения?

В учебниках по геологическим наукам вопрос о методах часто обходится или сводится к проблеме актуализма. Следует отметить, что вопросам методологии геологического исследования только в самое последнее время стало уделяться определенное внимание. Так, анализ системы методов геологического исследования сделан в работах Е. А. Куражковской, Б. П. Высоцкого, Л. И. Ивашевского. Отдельные методологические проблемы геологии исследуются в работах В. В. Белоусова, А. М. Боровикова, Ю. А. Воронина, В. В. Грузы, Э. А. Еганова, В. Н. Комарова, Ю. А. Косыгина, И. В. Крутя, В. И. Оноприенко, Г. Л. Поспелова, А. И. Равикович, А. В. Сидоренко, В. А. Соловьева, Н. П. Французовой, В. Е. Хаина, И. П. Шарапова

и многих других отечественных и зарубежных исследователей.

Разработка этих методологических проблем тем более необходима и настоятельна, что они имеют важное теоретическое и практическое значение. Так, развитие наших знаний о происхождении и развитии Земли как планеты, жизни на Земле необходимо для диалектики как общей теории развития. Кроме того, развитие Земли есть отдельная ветвь, часть общего развития природы, и поэтому выяснение закономерностей этого развития и отдельных его этапов очень важно для конкретизации самых общих законов развития. Весьма важен и тот факт, что геология изучает не только развитие неорганической природы, но и условия перехода от неорганической природы к органической — жизни. Геологические процессы служили важнейшим условием и предпосылкой возникновения живой материи, а в дальнейшем неорганическая природа являлась средой обитания и развития растений и животных.

Теория происхождения и развития Земли имеет и мировоззренческий аспект, ибо она подрывает основы религиозных представлений о сотворении природы неким высшим существом.

Общие проблемы геологии имеют прямой выход и в практику, поскольку общество основывает материальное производство на использовании природных ресурсов Земли. Следовательно, выяснение закономерностей образования и размещения месторождений полезных ископаемых, представляющих часть этих ресурсов — это также вклад в развитие производительных сил общества.

Разработка методологических проблем геологии представляется особенно актуальной в настоящее время, когда темпы современного промышленного развития требуют дальнейшего расширения минерально-сырьевой базы страны, выявления богатств ее недр.

Новые проблемы возникли в геологии в связи с усложнением взаимодействия общества и природы, необходимостью охраны земных ресурсов.

В современную эпоху освоения космоса у наук о Земле появились новые задачи и одновременно новые возможности для решения традиционных проблем. Геологические исследования стали частью комплекс-

ного изучения космоса, особенно ближайших планет — Луны, Венеры, Марса.

В настоящей работе автор попытался рассмотреть лишь некоторые методологические проблемы геологии. Из всего их многообразия главное внимание уделяется философскому анализу системы логических и общенаучных методов, применяемых в геологическом исследовании. При анализе этих методов не только дается характеристика их сущности, роли, условий и особенностей применения, но и прослеживаются тенденции, которые можно видеть уже теперь.

Тематика затронутых вопросов достаточно широка, и на пути ее решения пока делаются только первые шаги. Автор будет благодарен читателям за критические замечания и советы, которые будут способствовать дальнейшей разработке этих проблем.

Глава I

СИСТЕМА МЕТОДОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Учение о методах познания разрабатывается теорией познания, составляющей один из разделов философии. Диалектико-материалистической гносеологией вскрываются основные закономерности процесса познания, достижения полного и адекватного отражения объекта в нашем сознании. Для того, чтобы наиболее рациональным путем достичь истины, познать предмет исследования, необходимо применять методы, основанные на знаниях, на теории, т. е. научные методы. Научный метод — это совокупность определенных познавательных операций, соответствующих предмету науки и позволяющих решать ее задачи. Метод науки невозможно вывести только из объекта познания или только из активности познающего субъекта. Он всегда выражение диалектического единства, не исключающего и диалектического противоречия, отношения субъекта и объекта на основе практики, взаимодействия человека и природы. При этом в самом объекте познания метод не содержится, методом становятся некоторые принципы и правила, выработанные субъектом для получения или проверки знания. Эти принципы, в свою очередь, также основаны на знании объективной действительности, на теории.

Научный метод — основное средство познания действительности. Не случайно Ф. Бэкон сравнивал научный метод с фонарем. Ученый, не вооруженный научным методом, подобен путнику, который бредет в темноте и ощупью отыскивает себе дорогу. И. П. Павлов, подчеркивая важную роль метода науки, писал: «Метод — самая первая, основная вещь. От метода, от способа действия зависит вся серьезность исследования. Все

дело в хорошем методе. При хорошем методе и не очень талантливый человек может сделать много. А при плохом методе и гениальный человек будет работать впустую и не получит ценных, точных данных» [131, с. 21].

Каждая наука использует наряду со специальными и такие методы, которые применимы во всех науках. Поскольку все науки имеют одну общую цель — открытие законов природы и общества, то они используют и ряд общих принципов познания.

Все методы исследования подразделяются на три основных типа:

1) общие методы, к которым относится диалектический метод;

2) особенные (общенаучные) методы, которые используются в ряде наук (эксперимент, наблюдение, гипотеза, моделирование и др.);

3) частные методы, применяемые только в отдельной науке [76, с. 36—50].

Всеобщим методом познания является материалистическая диалектика. Всеобщность его не в том, что он как бы стоит над специальными методами, а в том, что материалистическая диалектика в своих законах и категориях отражает наиболее общие закономерности объективной реальности. Эти же законы регулируют и движение мышления, ведущего к познанию истины. Материалистическая диалектика указывает тем самым правильный путь к достижению истины, ускоряет ход исследования. Всеобщность материалистической диалектики как метода познания заключается в том, что она пронизывает собой весь познавательный процесс в любой области знания. Ф. Энгельс указывал, что «именно диалектика является для современного естествознания наиболее важной формой мышления, ибо только она представляет аналог и тем самым метод объяснения для происходящих в природе процессов развития, для всеобщих связей природы, для переходов от одной области исследования к другой» [7, с. 367].

Основоположники марксистской философии утверждали, что материалистическая диалектика — единственно правильный, единственно научный метод познания. Это справедливо в том отношении, что другие методы, претендующие на всеобщность — метафизический и идеалистический, не являются научными

методами познания. Но если материалистическую диалектику рассматривать вообще, в ряду всех существующих методов познания, то можно отметить, что наряду с ней находят применение и другие научные методы, менее общего характера.

В работе «Еще раз о профсоюзах, о текущем моменте и об ошибках тт. Троцкого и Бухарина» В. И. Ленин сформулировал важнейшие правила, требования, которыми вооружает материалистическая диалектика как метод научного познания исследователя в любой отрасли знания. «Чтобы действительно знать предмет,— указывал В. И. Ленин,— надо охватить, изучить все его стороны, все связи и «опосредствования». Мы никогда не достигнем этого полностью, но требование всесторонности предостережет нас от ошибок и от омертвения. Это во-1-х. Во-2-х, диалектическая логика требует, чтобы брать предмет в его развитии, «самодвижении» (как говорит иногда Гегель), изменении... В-3-х, вся человеческая практика должна войти в полное «определение» предмета и как критерий истины и как практический определитель связи предмета с тем, что нужно человеку. В-4-х, диалектическая логика учит, что „абстрактной истины нет, истина всегда конкретна“ [14, с. 290]. Наиболее полно основные правила диалектического метода, его принципы и требования, необходимые для достижения объективной истины, даны В. И. Лениным под названием «элементы диалектики» в «Философских тетрадях» [12, с. 202—203].

Этим не исчерпываются все требования, предъявляемые к научному исследованию, но они представляются наиболее важными для познания. Материалистическая диалектика вскрывает сущность и закономерности научного исследования, позволяет взглянуть на изучаемый предмет с наиболее широкой точки зрения. Знания диалектики еще недостаточно для того, чтобы решать те или иные естественнонаучные проблемы, делать научные открытия, но ею определяется общее направление исследования. Материалистическая диалектика как философская основа развития науки — это скорее стратегия, чем тактика научного исследования. Применение диалектики предостерегает от ошибок, абсолютизации того или иного метода познания. Так, попытки некоторых философов в недавнем прошлом

решать конкретнонаучные проблемы без учета данных этой науки приводили только к недоразумениям и ошибкам, затрудняли творческий союз философов и естествоиспытателей.

Огромное методологическое значение материалистической диалектики еще и в том, что она является наукой о теоретическом мышлении, об умении оперировать понятиями. Уже само изучение теоретических разделов тех или иных наук о Земле и их истории развивает способность абстрактно мыслить, способствует выработке определенных приемов исследования. Но оно не может дать полного знания законов теоретического мышления, к тому же в результате узкой специализации оно зачастую одностороннее. Так, в геологии сейчас господствует генетический подход к изучению природных образований, хотя его возможности и границы пр нимости специально не исследованы.

Результаты любого научного исследования существенно зависят от умения оперировать понятиями, а это умение может быть развито в результате изучения именно наиболее общей, абстрактной области знания — философии. Энгельс отмечал, что «искусство оперировать понятиями не есть нечто врожденное и не дается вместе с обыденным, повседневным сознанием, а требует действительного мышления» и что для развития умения оперировать понятиями «не существует до сих пор никакого иного средства, кроме изучения всей предшествующей философии» [6, с. 14; 7, с. 366].

Диалектико-материалистический метод — это не сумма специальных методов, в которых он своеобразно преломляется. Единство всеобщего и отдельного в исследовании достигается тем, что все методы изучают единый материальный мир. Диалектический метод, модифицируясь в каждой науке в соответствии с объектом ее, применяется через особенные методы. Учение об этих методах научного познания, теория их составляет более узкий уровень методологии науки [115, 118, 122]. На этом уровне общие методологические принципы конкретизируются, всеобщее превращается в конкретное. Исследуется сущность общенаучных методов, дается их теоретическое обоснование, выявляются эвристические достоинства и гносеологические возможности методов, границы их применимости. Ма-

териалистическая диалектика, выступая в виде теории методов, находит место каждому научному методу в процессе построения и развития любой научной дисциплины.

Вопросы методологии на этом уровне имеют также философский характер несмотря на то, что при анализе методов научного познания философы и обращаются к данным конкретных наук о природе и обществе. Применение общенаучных методов познания обусловлено не только особенностями познающего мышления, но и характером объекта исследования. Поэтому область их применения у́же, чем сфера использования диалектического метода, но гораздо шире, чем частных методов. С помощью общенаучных методов исследуется не весь предмет науки в целом, а лишь некоторые определенные его стороны. Открытие какого-либо нового метода, способа изучения или даже прибора приводит к развитию новых областей науки, к дифференциации научного знания.

В ходе развития научного познания отдельные частные методы могут стать и особенными, поэтому разграничение их не абсолютно. В то же время и особенные, и частные методы неразрывно связаны с материалистической диалектикой, ибо в познавательном процессе диалектический метод действует не помимо частных методов, не наряду с ними, *а через них*. Поэтому, когда некоторые исследователи заявляют, основным методом науки, в области которой они работают, является диалектический материализм, то это требует всегда пояснения.

М. М. Чарыгин и Ю. М. Васильев в учебнике по общей и исторической геологии пишут: «...Советские геологи широко пользуются методом диалектического материализма, являющимся единственно правильным и наиболее совершенным методом исследования для всех областей знания. Этот метод получает в геологии все большее применение» [167, с. 12]. Но это положение справедливо и для других наук — биологии, географии, химии и совершенно не раскрывает ни роль, ни специфику этого метода и тем более — особенных и частных методов геологии.

Исследователи не всегда четко представляют взаимодействие диалектического материализма и особенных

методов научного исследования. Вообще во всех учебниках по общей геологии раздел «Методы науки» представляется наиболее слабым и наименее разработанным. В этом отношении совершенно справедливо мнение В. Е. Хаина: «В наших учебных руководствах и программах по курсу общей геологии мы не находим ясности в ответе на вопрос об отношении метода диалектического материализма к специфическим методам геологических наук. В некоторых случаях диалектический метод приравнивается по своему значению или противопоставляется методу актуализма... В других случаях диалектический метод объявляется единственным методом геологии, а об актуализме вообще умалчивается...» [163, с. 33—34].

Методы исследования, применяемые в геологии, очень разнообразны, но в совокупности они образуют единую сложную систему, в которой можно выделить три уровня методов по степени их общности: первый, наиболее общий,— материалистическая диалектика; второй, менее общий,— общенаучные методы и третий, наименее общий,— конкретнонаучные методы. И когда говорят, например, о едином геологическом методе, то имеют в виду именно совокупность методов всех уровней.

В дальнейшем мы ограничимся лишь анализом методов второго уровня, подсистемы общенаучных методов. В любом конкретном исследовании они применяются совместно, органически дополняя друг друга. Своеобразие этой подсистемы определяется особенностью объекта познания, задачами и уровнем развития науки. В геологии это выражается, в частности, в том, что большая роль в ней принадлежит таким методам, как наблюдение, актуализм, исторический метод. Значение отдельных общенаучных методов как элементов этой подсистемы, естественно, различно: одни из них могут доминировать над остальными, другие играть вспомогательную роль. Кроме того, это развивающаяся, подвижная система, и роль отдельных методов в ней со временем изменяется, появляются новые методы и новые тенденции их взаимодействия с традиционными методами.

Необходимость комплексного исследования природных объектов, единства общенаучных методов в

геологии признается всеми исследователями, тем не менее противопоставление одних методов другим или абсолютизация отдельных методов очень часто наблюдались в истории геологии; порой подобные ошибки допускаются и в настоящее время. Во многом объясняется это узкой специализацией исследователей. Занимаясь решением вопросов той или иной геологической науки, некоторые исследователи склонны считать универсальными методы этой отрасли знания. Однако каждый отдельный метод вскрывает лишь конкретную сторону, то или иное свойство предмета и лишь в своей совокупности все методы дают полное и глубокое знание о нем. Кроме того, отдельный метод имеет определенные познавательные возможности, которые зависят от особенностей его гносеологической природы. Поэтому универсального, пригодного во всех случаях общенаучного метода познания природных явлений быть не может. Исторический метод, например, находит применение в исторической геологии, стратиграфии; моделирование — в петрографии, геоморфологии, тектонике; эксперимент — в геофизике, геохимии и т. д. Для полного изучения объекта необходим комплекс методов в их тесном взаимодействии.

Исторически познание природных объектов начинается с простого наблюдения, описания, с фиксации этих объектов в их естественной форме. От непосредственного наблюдения объектов, доступных восприятию органами чувств без применения вспомогательных средств, исследование переходит к опосредованному, беря на вооружение новые технические средства. Так, в геологических науках применение поляризационного микроскопа произвело подлинную революцию и привело к созданию новой отрасли геологических знаний — петрографии, науки о горных породах.

Последующее развитие техники и разработка новых приемов исследования (электронная микроскопия, использование рентгеновских лучей) позволили вскрыть более тонкие особенности кристаллической структуры минерального мира. Структура сложных силикатов, например, была расшифрована только с помощью применения рентгеноструктурного анализа.

Данные наблюдения и описания представляют эмпирические факты науки, основу для различных

обобщений и выдвижения гипотез. Поскольку в задачу последней входит приведение их в определенную систему, выявление в них общего и различного, то наука прибегает к сравнению. С помощью сравнительного метода выявляются общие и индивидуальные свойства исследуемых объектов. Наличие этих свойств кладется в основу классификации объектов. Так возникли классификации минералов по физическим свойствам, применению, химическому составу. Интересно, что многие естественные науки исторически возникают тогда, когда начинается широкое использование сравнения. Геология также начала развиваться с обоснования метода актуализма, в основу которого легло сравнение процессов прошлого и их результатов с современными геологическими явлениями.

Дальнейшее развитие производства, накопление фактических данных приводит к созданию исторического, и его разновидности — сравнительно-исторического метода, с помощью которого восстанавливаются различные этапы развития объекта, выявляется его генезис, открываются новые закономерности.

Необходимость выявления сущности объектов познания приводит к применению более действенных средств и методов. Так, с развитием наук о Земле все большую роль в познании объектов природы играет эксперимент. Исследование процессов «в чистом виде», вне осложняющих его ход и результаты второстепенных сторон и влияний позволяет вскрыть его глубинные закономерности.

Эксперимент исторически возник раньше, чем многие другие методы, но широкое его использование в геологическом исследовании относится только к нашему времени. Помимо новых открытий с помощью эксперимента проверяются многие положения и гипотезы; часть из них отбрасывается, а часть превращается в теорию
и опровержения гипотез и потому значение эксперимента для науки огромно. Но в геологии продолжительность жизни гипотез значительна, ибо проверка многих из них экспериментально пока невозможна, и это является одной из причин ее отставания от ведущих отраслей естествознания.

В случае невозможности экспериментального вос-

производства природного процесса создается его аналог. Эта новая система — модель, подобная природной,— подвергается исследованию, и данные последнего переносятся на реальный объект.

Моделирование имеет важное эвристическое и критериальное значение. В геологии, например, моделирование играет даже большую роль, чем эксперимент, в силу специфики изучаемых ею процессов. Многие теоретические вопросы геологии решаются именно с помощью моделирования. Так, моделирование позволяет в ряде случаев установить механизм при процесса, предсказать возможность новых явлений, обосновать новый способ образования геологических объектов.

Развитие новых методов во многом изменило характер геологии. Если раньше геологические науки возникали путем членения единого объекта, то в дальнейшем новые науки возникают главным образом в зависимости от применения новых методов исследования. Объект исследования наук остается прежним — наша планета, хотя предмет этих дисциплин и традиционных геологических наук изменяется.

Проникая в геологию, новые методы становятся частями, элементами единой системы методов геологии, но при этом специфика их сохраняется. Эти методы по-прежнему применяются и в «родной» науке, и в геологии и могут применяться в ряде других смежных наук. Взять, например, метод меченых атомов. Являясь, по существу, физическим методом исследования, он со временем нашел применение в биологии, геологии, медицине. От этого он, однако, не стал ни биологическим, ни геологическим, ни медицинским. Поэтому мы не можем согласиться с Б. П. Высоцким, который любой метод, применяемый в геологии, считает уже геологическим. В частности, он утверждает, что «противопоставление физических методов геологическим неверно уже лишь потому, что они являются не физическими, а геофизическими, т. е. разновидностью геологических методов» [49, с. 188].

Помимо выяснения основных тенденций применения отдельных методов в геологии необходим анализ их взаимосвязи в определенные эпохи. Это как бы моментальный снимок системы методов и установление взаи-

моотношения между ее отдельными элементами. Эти взаимоотношения, естественно, были неодинаковыми в разное время. Поскольку роль отдельных методов в исследовании природных процессов изменялась, то изменялось и их взаимодействие. Сама система методов, обладая подвижной структурой, развивалась и со временем решала все более сложные проблемы познания природных процессов. Взаимосвязь и субординация отдельных методов тесно связана с проблемой доминирования того или иного метода и зависимости от него других методов. Доминирующий метод составляет основу системы, своеобразный стержень, вокруг которого группируются другие методы. На первом этапе развития геологии преобладало описание, наблюдение, на следующем — наблюдение, сравнительный и исторический методы, на третьем — наблюдение, сравнительный и исторический методы, моделирование, эксперимент и др.

В различных геологических науках, изучающих отдельные стороны единого объекта — Земли, доминируют, естественно, разные методы исследования. Это обстоятельство связано с характером задач, решаемых этими науками, и объясняется процессами дифференциации, специализации геологического знания. Последние вполне естественны и закономерны, но иногда доминирующий метод отдельной геологической науки выдается за главный для любого исследования в науках о Земле. Такая оценка давалась в разное время наблюдению, актуализму, сравнительно-историческому методу.

Рассматривая современную геологию, выделить один доминирующий метод довольно затруднительно. Это связано с ее переходным этапом развития и значительной дифференциацией. Из эмпирических методов в ней довольно широко применяются наблюдение, из теоретических — актуализм, исторический метод, из логических — аналогия, индукция, гипотеза. Это не означает, что другие методы — классификация, сравнительный, эксперимент не используются, наоборот, они получают дальнейшее развитие, но так или иначе подчинены задачам исторического или структурного исследования.

Поскольку речь идет о взаимодействии методов, то очевидно, что каждый из них влияет на другие ме-

тоды и в то же время зависит от всей системы методов в целом. Функционирование отдельного метода в геологии определяется не только его гносеологическими возможностями, но и тем, какое место он занимает в системе методов. В зависимости от характера решаемой задачи роль отдельных методов в системе может варьировать в довольно значительных пределах.

Следует отметить, что система методов в геологии формировалась стихийно, чисто эмпирическим путем. Сами исследователи, применяя те или иные методы познания, не изучали специально их гносеологические возможности и условия, пределы применимости. Только в самое последнее время появилось несколько работ, в которых описывается система методов и анализируются вопросы взаимодействия методов геологического исследования. Кратко остановимся на характеристике этих работ.

А. И. Равикович к теоретическим методам естествознания относит только актуалистический (метод сравнения) и сравнительно-исторический методы. Ко второй группе методов, конкретнонаучным — геологические (биостратиграфический, формационный и т.д.), биологические, астрономические и прочие методы. Наблюдение и лабораторные исследования, связанные с экспериментированием, она считает эмпирическими методами, называя их методиками. Эмпирические методы, по ее мнению, играют вспомогательное значение и их данные приобретают смысл только с использованием геологических методов [142, с. 36—37

Не сформулировав четкого критерия классификации, А. И. Равикович явно преувеличивает значение сравнительного метода, а наблюдение, эксперимент, моделирование недооценивает. Вообще эксперимент понимается ею очень узко, его значение сводится только к анализу вещественного состава горных пород и радиоактивному методу определения их абсолютного возраста. Но эксперимент — это и метод решения ряда геологических проблем. Достаточно указать на геофизические эксперименты, эксперименты в петрографии, наконец, космические эксперименты. То же можно сказать и о моделировании. Однако во всей главе «Теоретические методы геологии» нет даже упоминания об этом методе.

Сходную классификацию методов геологического исследования предлагает Е. А. Куражковская. Она считает, что совокупность этих методов целесообразнее всего отразить в виде планетарной модели: «Место центрального ядра модели займут те общие методы науки, которые в этой системе являются в то же время и основными. В геологии это сравнительно-исторический метод и актуалистический. Внутреннюю орбиту, непосредственно примыкающую к ядру, займут методы геофизические, геохимические, геобиологические, включающие в себя эксперимент, моделирование и математическую обработку. На промежуточной орбите модели займут свое место собственно физические, химические и математические методы. Они являются общими для геологических наук, как и всего естествознания. Внешнюю орбиту модели займут методы логические, синтезируемые философской методологией. Они являются общими для всех областей знания» [91, с. 119].

Анализируя эту схему классификации методов геологического исследования, следует отметить некоторую логическую ее непоследовательность. В основу положен критерий общности применяемых методов, но он не выдерживается: общие методы находятся и в ядре и на внешней орбите. И второй крупный недостаток этой схемы — отсутствие четкого выделения геологического метода как определенной системы методов разной степени общности, его сущности и специфики. Не указаны и различия методов в отдельных геологических науках.

Классификация методов геологии, предложенная Б. П. Высоцким, носит более полный и сложный характер. Им выделяются три группы методов геологии (без общенаучных методов): принципиальные, специальные и рабочие. Б. П. Высоцкий указывает, что его классификация «хорошо сопоставляется со схемой Кедрова. Общие и принципиальные ее методы совпадают с ,,общими" и ,,особенными" методами классификации Кедрова, с внутренней перегруппировкой» [49, с. 218].

В число рабочих геологических методов включены следующие их группы: 1) геофизические (прикладные), 2) геохимические (прикладные), 3) геобиологические и геобиохимические, 4) прочие геологические — аэро-

фотометод, шлиховое опробование и т. д. К рабочим методам геологии, общим с другими науками, отнесены 5) физические, 6) химические, 7) математические.

Специальные методы подразделены на три группы: 1) геофизические и геохимические, 2) геокосмологические и геобиологические, 3) прочие, собственно геологические методы — геоморфологические, петрологические, тектонические и др.

К принципиальным, или основным, методам геологии наряду с актуализмом и сравнительно-историческим методом Б. П. Высоцкий относит моделирование и эксперимент. Кроме того, отмечены общенаучные методы: сравнение, индукция и дедукция, анализ и синтез, аналогия, наблюдение, описание и т. п.

Бросается в глаза логическая некорректность предложенной схемы, слабая обоснованность критерия классификации. Геофизические и геохимические методы относятся и к рабочим, и к специальным методам геологии. Одни общенаучные методы включены в число принципи

,

гие не включены несмотря на то, что их роль в геологическом исследовании, например наблюдения, гораздо большая.

Другим слабым местом этой классификации является недооценка методов точных наук — физики, химии, математики. К тому же геофизические и геохимические методы отнесены к рабочим и специальным, а математические — только к рабочим методам геологии. Несмотря на то, что эксперимент и моделирование включены в число принципиальных методов геологии, они, по мнению Б. П. Высоцкого, играют вспомогательную роль. «Мы,— пишет он,— должны считать эксперимент более узкой и подчиненной частью актуализма» [49, с. 223]. Ведущим методом геологии признается сравнительно-исторический метод.

Как видно из изложенного, эта классификация методов геологии логически не выдержана, не вскрывает сущности геологического исследования. Она не только не увязывается со схемой Б. М. Кедрова, но и противоречит ей. Причем последняя приводится неточно, и в группу общих методов наряду с материалистической диалектикой Б. П. Высоцкий почему-то включил сравнительный, исторический и актуалисти-

ческий методы [49, с. 217]. На несовершенство классификации методов Б. П. Высоцкого указывают и другие исследователи [62, с. 25; 91, с. 100—102].

Такой уровень развития науки, когда она занимается преимущественно исследованием и описанием внешних сторон и связей объекта, его отдельных отношений, носит в логике и методологии научного познания название эмпирического. Для него характерно отождествление научных абстракций с реальностью, предмета изучения с самой действительностью, с непосредственно наблюдаемыми объектами. Проверка законов и научных фактов на эмпирическом уровне развития науки производится путем прямого обращения к действительности.

По мнению многих геологов, отнесение геологии к эмпирическому знанию умаляет ее значение и успехи в создании минерально-сырьевой базы страны. Успехи эти действительно громадны, но в то же время на многие важные вопросы современная наука не может дать определенного, четкого ответа. Это касается прежде всего вопросов точного прогноза на многие полезные ископаемые, особенно не имеющие выходов на земную поверхность. Многие месторождения полезных ископаемых открываются либо случайно, либо в результате геологической или геофизической съемок.

Нам представляется, что признание эмпирического уровня развития геологии ни в коей мере не умаляет ее значение, а, наоборот, позволяет лучше видеть пути ее дальнейшего прогресса.

Нельзя считать, что на эмпирическом уровне развития науки не ведутся теоретические исследования и не создаются теоретические построения. Теоретические исследования в геологии ведутся с периода ее становления; под ними понимается выработка гипотез и законов или получение выводов опосредованным путем, без непосредственного обращения к геологическим объектам. Так, В. В. Груза относит к теоретическим «знания, получаемые логическим путем, а также универсальные общие положения: законы и теории» [62, с. 19]. Поскольку в геологии довольно много знания о прошлых состояниях объектов, получаемого путем межвременной экстраполяции, и которое, по его мнению, не может быть отнесено к эмпирическому, то «по степени исполь-

зования знаний подобного рода геология во многом превосходит другие науки и столь же ,,теоретична'', если не более, чем физика и химия» [62, с. 20].

Теоретические построения носят в геологии идеографический характер, они наглядны и представляют собой индуктивное обобщение эмпирического материала. В. В. Груза вынужден признать, что «достижения современной геологии — это достижения эмпиризма. Геологические теории несовершенны с логических позиций, но главное — они характеризуются малой глубиной и широтой охвата, в связи с чем большая часть эмпирической информации не может быть введена в рамки существующей научной системы» [62, с. 127].

Ведущие ученые-геологи — А. В. Пейве, Н. М. Страхов и А. Л. Яншин отмечали, что «в геологии до сих пор неизвестного, неясного и спорного остается гораздо больше, чем точно выясненного. Общая теория геологических процессов только еще начинает разрабатываться, и то лишь в некоторых областях, например, в литологии. Наши представления о строении глубоких частей земной коры, о причинах тектонических движений, о процессах метаморфизма горных пород, об условиях образования многих полезных ископаемых остаются нередко гипотетичными» [133, с. 13—14].

Особенностями теоретических построений в геологии являются их простота, наглядность и непосредственная связь с эмпирическими данными. Строгое дедуктивное знание, позволяющее делать достоверные выводы,— теоретическое знание в узком смысле этого слова — в геологии почти отсутствует.

Внутренняя логика развития науки, усложнение практических задач (необходимость более достоверных прогнозов в связи с истощением легкодоступных месторождений), необходимость преодоления отставания от ведущих отраслей естествознания делают необходимым переход к новому, более высокому уровню развития — теоретическому. К современному положению геологии полностью подходят слова Ф. Энгельса: «Эмпирическое естествознание накопило такую необъятную массу положительного материала, что в каждой отдельной области исследования стала прямо-таки неустранимой необходимость упорядочить этот материал систематически и сообразно его внутренней связи... Но, заняв-

шись этим, естествознание вступает в теоретическую область, а здесь эмпирические методы оказываются бессильными, здесь может оказать помощь только теоретическое мышление» [7, с. 366].

Переход к теоретической стадии не означает, что геология перестанет быть опытной наукой или что в ней исчезнут элементы творчества. Сама созданная дедуктивным путем теория будет служить общей методологической основой построения готового и получения нового геологического знания.

Теоретический уровень знания характеризуется тем, что наука создает идеализированные объекты и представляет собой такую систему истинного знания, которая выводится из определенных принципов — абстрактных теоретических предпосылок. Наиболее распространенный метод построения теории — аксиоматический. В научной теории обычно все множество высказываний системы членится на два подмножества: первое, небольшое подмножество, включает в себя все исходные положения системы-аксиомы, а второе — все остальные высказывания, выводимые из первых. Благодаря логическим принципам все понятия и утверждения, образующие теорию, закономерно связываются между собой и образуют цепь выводимых друг из друга высказываний. Из аксиом как единых принципов объясняются все явления данной области, ибо в аксиомах сконцентрировано все существенное содержание теории.

А. Эйнштейн писал, что в современной науке «с самого начала проявлялось стремление найти для унификации всех отраслей науки теоретическую основу, образованную минимальным числом понятий и фундаментальных соотношений, из которой логическим путем можно было бы вывести все понятия и соотношения отдельных дисциплин... До тех пор, пока принципы, могущие служить основой для дедукции, не найдены, отдельные опытные факты теоретику бесполезны, ибо он не в состоянии ничего предпринять с отдельными эмпирически установленными общими закономерностями [177, с. 230, 15].

Основные принципы и гипотезы теоретического знания не могут быть созданы путем индуктивного обобщения эмпирического материала, они представляют

собой теоретическое, умозрительное обобщение его и в то же время — основополагающие абстракции, позволяющие конструировать его предметы и развивать систему понятий. Составляя теоретический базис научного знания, они в сокращенной и концентрированной, логически стройной форме содержат накопленную предшествующую информацию и определяют характер и сущность научной теории. Большую роль в построении теории играет создание абстрактных теоретических конструкций, идеализированных объектов. Мысленные эксперименты с идеальными объектами позволили выяснить многие законы и принципы физики. Содержание созданной теории обычно выражается с помощью новой системы понятий.

Поскольку геологические процессы многоплановы и геологические науки весьма отличаются по своим предметам, задачам и методам, то создать единые принципы для них, очевидно, крайне затруднительно. Возможно, в данном случае более рациональный путь — это интеграция самых общих положений, принципов отдельных отраслей геологического знания и установление логических связей между ними. Предметом познания новой теории будут не «реальные процессы», а идеальные объекты.

В литературе по методологии геологического исследования идет дискуссия по проблеме объекта исследования. Согласно традиционной точке зрения, основные объекты геологии — минералы, горные породы, руды, формации и т. п.— выделяются в процессе познания «естественным путем». Они как бы имеют самодостаточные основы для познания. Считается, что объекты познания заданы однозначно самой природой и задача исследователя — найти эти объекты. Последние существуют «сами по себе», вне задач и целей исследования. Нередко не делается различия между объектами природы и предметами научного исследования. При этом исследователи опираются на выделение вполне очевидных, чувственно воспринимаемых, доступных непосредственному изучению свойств объектов. Так, И. В. Круть утверждает: «объективно существующая видовая организация естественных тел *сама по себе* (курсив наш.— *И. П.*) способствует восприятию этих объектов нами в качестве целостных образов» [89, с. 93].

Если такая точка зрения была исторически оправданной на определенном этапе развития науки, ибо вычленение объектов познания представлялось простым и наглядным, то по мере развития науки она становится недостаточной и ведет к субъективным выводам. Оказывается, что принципы выделения «естественных тел», другими словами, тел, выделение которых было «подсказапо самой природой», являются непроверяемыми, неконструктивными и неоднозначными. Происходит это, по нашему мнению, потому, что подобная точка зрения недостаточно учитывает диалектическую связь, взаимодействие в процессе познания объекта и субъекта. Если в классическом естествознании субъект и объект строго разграничивались, и объект рассматривался как существующий «сам по себе», как «естественный», не зависящий от субъекта и способа и цели познания, то для современного естествознания характерно системное рассмотрение взаимодействия объекта и субъекта. В настоящее время нельзя игнорировать активность субъекта, значение цели и средств исследования. Наука изучает не мир как таковой, а мир, подвергнутый определенной концептуализации, описываемый некоторой системой категорий. Применение разных методов и операций дает различные картины объекта, хотя его природа остается неизменной. Последний как бы является нам такой стороной, которая зависит от условий и цели познания.

Критика понятия «естественное тело» дана в ряде работ Ю. А. Воронина и Э. А. Еганова, а также В. В. Грузы, который считает этот подход метафизическим [62, с. 169]. Мы полностью согласны с Э. А. Егановым, который, характеризуя эти «наивно-реалистические взгляды», писал, что при проведении исследования должны «четко формулироваться его цели и практические отношения, которые смогут определить критерии проверки того, что мы разумно и правильно выбрали свойства для вычленения объектов» [67, с. 268].

Поэтому неверно считать, что новая теория будет изучать объекты идеальные, а существующая — реальные, природные объекты. Конструирование предмета исследования всегда предполагает создание идеального объекта — некоторой модели, которая может быть наглядной и ненаглядной. Объекты новой теории будут

менее наглядны, более абстрактны, но позволят глубже проникать в сущность объекта, скрытую за многообразием геологических явлений.

Эти положения достаточно известны в методологии научного познания. Но каждая наука обращается к ним лишь тогда, когда она не в состоянии решить свои важнейшие, наиболее общие проблемы. И материалистическая диалектика как методология научного познания стала применяться осознанно и систематически в отдельных науках не тогда, когда была создана, а когда для этих наук стал необходим выход в область философии.

Проверка истинности теоретического знания не может быть непосредственно осуществлена при помощи наблюдения и эксперимента, ибо теория оперирует идеальными объектами — конструктами и содержание ее не имеет чувственного коррелята, не является простой фотографией природы. Теория связывается с действительностью через эмпирическую интерпретацию. Последняя призвана обеспечить возможность, во-первых, понимать технические термины теории на основе обыденного языка, обозначающего наблюдаемые вещи, во-вторых, наблюдать ситуации, предсказываемые на основе выводов из теории, в-третьих, подтверждать опытным путем теоретические положения [174, с. 115]. Здесь происходит движение от исходного общего и абстрактного к выводному конкретному и единичному.

Для научной теории характерно то, что она есть система описания и объяснения. Кроме того, она, синтезируя и обобщая накопленный фактический материал, проникает в сущность объектов, раскрывая управляющую ими объективную закономерность. Поэтому теория имеет и предсказательную функцию, являясь мощным орудием предвидения. Построение теории в то же время и некоторый конечный результат, завершение этапа познания.

Созданная теория, синтезируя знание о некоторой области действительности, позволяет решать современные задачи науки, но ее аппарат пригоден и для решения задач, которые могут возникнуть в будущем. Эвристические возможности теории определяются именно тем, что она верно, адекватно отражает объективные связи. Поэтому не правы исследователи, подчеркиваю-

щие лишь инструменталистскую функцию теории; противопоставляющие эвристичность теории ее адекватности. В. В. Груза, в частности, пишет: «Значение теории определяется не тем, что любые фигурирующие в ее рамках высказывания адекватно описывают окружающую действительность, но тем, какие эвристические возможности предоставляет она в руки исследователя» [62, с. 140]. Эвристичность и адекватность — это понятия, выражающие не альтернативные постановки вопроса, а связи следствия и причины.

К теоретическому знанию иногда относят и такие системы знания, которые не сопоставляются с логическими моделями, т. е. не формализованы. Таковы содержательные теории — например в химии, биологии (эволюционная теория Дарвина), геологии. Такие неформализованные теории — а надо сказать, что они преобладают в современной науке — представляют собой только обобщение эмпирического материала. А. А. Ляпунов считает, что их следует относить к описательным естественнонаучным теориям, так как они неполны и несовершенны, у них отсутствует точность границ применимости, логическая строгость, а с этим связаны и трудности однозначного предсказания, и разногласия при практическом применении [99, с. 40, 42].

В геологии необходимость построения строгих научных теорий не всегда осознается, практическое значение их недооценивается. Многие геологи придерживаются мнения, что открытие месторождения полезного ископаемого (пусть небольшого по запасам) гораздо важнее, чем занятие «отвлеченными рассуждениями» — формальными построениями, абстрактными теоретическими исследованиями. Так, А. В. Бухникашвили, отрицая значение работ по формализации геологических положений, прямо заявляет, что «при помощи этой отвлеченной формалистики не только невозможно открыть месторождение полезного ископаемого, но и вообще сделать что-либо полезное в геологии» [35, с. 150].

Каким же образом происходит переход науки от эмпирической стадии развития к теоретической? Для осуществления этого перехода огромное значение имеет марксистско-ленинская философия — мировоззрен-

ческая и методологическая основа наук о природе и обществе. Только исходя из основных диалектико-материалистических методологических принципов можно выяснить движение познания от явления к сущности, от эмпирии к теории. Методология как бы намечает каждой науке основной путь ее развития, ибо важнейшие закономерности познания общи для всех естественных наук. Поэтому в процессе теоретизации науки все большую роль приобретают материалистическая диалектика и логика, определяющие пути и методы построения научной теории. В. П. Бранский пишет, что «проблема эвристической роли философских принципов в формировании научной теории является не просто одной из важных и актуальных методологических проблем нашего времени, а главной, центральной проблемой методологии и гносеологии, ибо ее решение уже предполагает решение всех других фундаментальных методологических и гносеологических проблем» [31, с. 4]. Анализ процессов формирования физических теорий позволил ему выделить четыре этапа исследования: эмпирическое, нефундаментальное теоретическое, умозрительное и фундаментальное теоретическое.

С точки зрения эмпиризма теория представляет собой простое, индуктивное обобщение опытных данных, причем теория якобы однозначно связана с последними. Для эмпирического направления характерна недооценка роли философии в создании теории. Основные принципы и гипотезы эмпиризм понимает как суммарное выражение опыта вне связи с более общими идеями. Так, неопозитивисты, например, заявляют, что принципы теории имеют лишь формальное значение, что они нужны лишь для целей упорядочения эмпирического знания и принимаются по соглашению или из соображений простоты и удобства.

Согласно марксистско-ленинской методологии, теоретическое знание возникает не путем простого обобщения эмпирических фактов, а представляет собой особую, качественно новую ступень развития научного знания. Оно возникает из более общего знания — предпосылок теории и из эмпирических предпосылок — данных опыта и эмпирических законов [104, с 195—196]. Причем создание теории зависит не только от появления новых эмпирических данных, ибо связь

последних с теорией неоднозначна, а также от возникновения новых общих идей, часто по-иному объясняющих те же данные. Большую роль в создании теоретического знания в конкретной области играет базис всего научного знания — общая научная картина мира, формирующаяся под влиянием философских идей.

Возрастание роли теорий в геологии требует решения ряда философских (методологических) проблем. М. В. Мостепаненко замечает по этому поводу, что «для того чтобы в ней (геологии) возникли свои подлинно теоретические методы исследования, нужно сначала разработать философские вопросы геологии, а затем построить научную картину мира, которую условно можно будет назвать геологической» [104, с. 161].

Для построения теоретического знания в геологии важно выяснить сущность природных процессов и пути ее раскрытия. В большинстве геологических процессов мы можем в общих чертах установить на некотором элементарном уровне эту сущность [107, 111]. Если анализировать с этой точки зрения процессы породообразования, то здесь сущность магматических процессов вскрывается законами химии, физики и физической химии. Для изучения закрытых систем применяется первое правило термодинамики с его следствиями (закон Гесса и др.), для изучения изолированных и закрытых систем — второе начало термодинамики со статистической интерпретацией, для изучения условий равновесия и равновесных процессов — правило фаз Гиббса и т. д. Сущность большинства метаморфических процессов породообразования также химическая. В этих процессах огромную роль играют законы физической химии: закон температур, закон объемов, правило фаз Гиббса и др.

Что же касается процессов образования осадочных горных пород, то сущность этих процессов отчетливо выражена уже в их названии: механические (обломочные), хемогенные и биогенные. Внутренняя основа тектонических процессов пока достоверно не известна, но выражаются они в виде механических движений. Геоморфологические процессы более разнообразны по своей сущности, и их можно по этому признаку подразделить на физические (денудация, аккумуляция,

горообразование), химические (выщелачивание, химическое выветривание) и биологические.

Следует сразу отметить, что все основные типы геологических процессов — породообразование, геоморфологические и тектонические — не исчерпываются сущностью, они богаче, шире ее, но основа их достаточно полно выясняется законами точных наук. Именно поэтому при исследовании геологических процессов должен быть использован весь комплекс принципов и методов физики и химии. Необходимы глубокий содержательный анализ геологических представлений, выявление главных, существенных связей в природных процессах и установление новых общих закономерностей. Это не означает отрицания специфики геологических законов, а только подчеркивает огромную роль методов точных наук в познании геологических объектов. Геологические законы имеют вполне самостоятельный специфический характер и не сводятся к законам физики и химии. Эта самостоятельность отчетливо проявляется на более общем уровне анализа природных объектов — макроуровне.

Необходимы также формальный анализ основных геологических представлений, создание общей системы понятий и единого научного языка. Формализация позволит устранить многозначность выражений естественного языка, сформулировать исходные положения в краткой, ясной и точной форме, даст возможность из сформулированных правил выводить следствия. Значение формализации — в логическом упорядочении готового знания, выражении существенных, инвариантных его аспектов. Достаточно указать на кристаллографию, формализация которой позволила превратить ее из описательной в математически строгую научную дисциплину.

Формализация унифицирует и обобщает полученное знание, она имеет и эвристические возможности — способствует обнаружению ранее неизвестных свойств объектов. Кроме того, формализация способствует совершенствованию геологических представлений в теоретическом отношении. В настоящее время важнейшим критерием оценки теоретических построений геологии является «практическое подтверждение», в основном данные наблюдения. Но проверяемость не может счи-

таться единственным критерием оценки научной теории. Это применимо в основном к феноменологическим теориям.

Поскольку современные теоретические положения формулируются с помощью логически нестрогих понятий, имеющих неоднозначный смысл, постольку нередко «практическое подтверждение» одновременно получают гипотезы, противоположные по содержанию. Так, существующие гипотезы об органическом и неорганическом происхождении нефти, о движении материков и их стабильном положении и многие другие опираются в основном на одни и те же факты. Главные условия проверки теоретических положений — глубина их разработки и логическое совершенство. «Внешнее оправдание» следует дополнить критерием «внутреннего совершенства» (Эйнштейн). Эмпирическое подтверждение неразвитых, нестрогих в теоретическом отношении построений, хотя первоначально и может удовлетворять требованиям практической пользы, не всегда приводит к тем глубоким истинам, в приращении которых заинтересована наука, а в конечном счете и сама практика. Трудно не согласиться с Ю. А. Ворониным и Э. А. Егановым, которые считают, что требования узко понятого практицизма «убийственны для развития теории геологии, ибо декларирование примеров успешного практического применения какой-либо системы высказываний, выдаваемых за теорию, учение и т. д. без формально-логического обоснования, оправдывает загромождение науки малоплодотворными, а то и спекулятивными построениями» [45, с. 43].

Немецкий исследователь Тиргартнер считает, что теоретическая геология должна отличаться: 1) господством преимущественно математико-кибернетического мышления моделями; 2) четкостью, точностью, однозначностью информации, понятий, терминов, высказываний, теорий и основных представлений; 3) высокой достоверностью геологических высказываний, поисковых критериев, прогнозов месторождений [182].

Авторы статьи «На пути к теоретической геологии» полагают, что теоретическая геология должна:

а) представить общий формальный аппарат, позволяющий строить и описывать абстрактные модели геологических объектов исследования, алгоритмически решать геологические задачи;

б) создаваться на общем для всей геологии языке, оперировать общими принципами и средствами, позволяющими изучать геологические объекты исследования. При этом должна быть обеспечена возможность обобщения специализированных методик разных разделов геологии, возможность переноса методов одной области геологии в другую, а также использования в геологии аппаратов и методов других наук;

в) иметь теоретические принципы и средства, позволяющие частным геологическим отраслям разработать методику планирования наблюдений и экспериментов, перехода от эмпирических данных к теоретическим моделям, обратной эмпирической интерпретации теоретических конструкций и выводов, проверки решений задач;

г) предложить способы выбора различных стратегий и тактик теоретических исследований в общих и частных разделах геологии, предусматривая при этом постоянную связь с практической геологией как со своим базисом;

д) дать обобщение и типизацию геологических задач (по различным критериям, для широкого выбора и применения математических методов их решения), анализ каждого типа геологических задач;

е) дать общую основу для сравнения, оценки и оптимизации развития различных теорий (частных и общих), моделей, постановок задач и т. п. [30, с. 166].

Таким образом, основные тенденции развития геологии, в частности математизация и увеличение роли теоретических разделов, приводят к изменению взаимодействия методов в геологическом исследовании. Увеличивается в нем роль моделирования, эксперимента, математических и логических методов. Применение этих методов позволит сделать геологическое исследование более полным, точным, а выводы — более доказательными. Из логических методов должны получить более широкое применение дедуктивные методы, в том числе аксиоматический. При этом все чаще предметом исследования становятся не объекты природы, а сами методы, их теоретическое обоснование.

В заключение отметим, что система общенаучных методов геологического исследования обладает сложной структурой. Со временем роль отдельных методов

в этой системе изменяется, изменяется ее структура. В целом основными тенденциями в развитии системы методов геологического исследования являются обогащение ее методами смежных естественных наук, а также математики и логики. Полнее и глубже осознается роль философии как методологической основы исследования.

Глава II

ЭМПИРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

НАБЛЮДЕНИЕ

Исторически геология развивалась как описательная наука. Наиболее древние геологические знания — это описания природных образований, наблюдения над неживой природой. Наблюдение есть чувственное восприятие предметов и явлений окружающей действительности. Для научного наблюдения характерны такие черты, как активность, систематичность, целенаправленность и планомерность. Научно наблюдать объект можно многократно и в самых разнообразных условиях. При наблюдении исследователь не нарушает реальных связей изучаемого объекта с другими объектами и выделяет интересующую его сторону только в абстракции. Активность субъекта проявляется не в преобразовании объекта, а в организации наблюдения, постановке задач, использовании измерений и т. д., т. е. наблюдатель не просто фиксирует факты, а сознательно ищет их, руководствуясь прежним опытом, определенной идеей или гипотезой. Результаты научного наблюдения всегда требуют определенной интерпретации в свете существующих теоретических положений. Последние зачастую как раз контролируют и определяют наблюдение, делая его целенаправленным. Подчеркивая роль теории в опыте, А. Эйнштейн в разговоре с В. Гейзенбергом сказал: «Можно ли наблюдать данное явление или нет — зависит от вашей теории. Именно теория должна установить, что можно наблюдать, а что нельзя» [52, с. 303].

Несмотря на то, что наблюдение связано с чувственным восприятием объекта, оно может обеспечить

получение достаточно объективной и достоверной информации в процессе наблюдения. Это объясняется тем, что чувственное восприятие субъективно по своей форме, но объективно по содержанию, и в целом верно отражает свойства и связи внешнего мира. Степень объективности и достоверности информации, полученной на основе наблюдения, зависит от тех условий, в которых оно происходит. В частности, при сложном наблюдении, когда создаются специальные условия для него, информация носит более полный и достоверный характер, чем при простом наблюдении, протекающем в естественных условиях, без прямого вмешательства исследователя.

Объективность и достоверность информации, полученной в процессе наблюдения, во многом зависит и от уровня развития науки. В случае теоретической обоснованности исходных посылок наблюдения и самой системы наблюдения оно имеет более действенный характер. При этом следует иметь в виду, что оно осуществляется с помощью определенной системы понятий.

Первоначальная форма изучения геологических процессов — непосредственное наблюдение. Оно не опирается на применение технических средств, приборов и инструментов. В современном геологическом исследовании «в поле» оно играет главную роль. Объясняется это тем, что внешние проявления и многие свойства геологических объектов относятся к макроскопическому уровню организации материи, сравнительно легко доступному для изучения. Поэтому цвет, размеры, характер контактов, состав и другие свойства природных образований исследователь может изучать путем непосредственного наблюдения.

Опосредованное наблюдение предполагает использование вспомогательных технических средств. С помощью приборов и аппаратов значительно усиливается познавательная мощь органов чувств и создаются неограниченные возможности для фиксирования наблюдаемых свойств и связей. За счет этого усиления само геологическое исследование становится более полным, результаты его — более точными и объективными, что поднимает его на качественно новую ступень. Так, применение поляризационного микроскопа в петрографии позволило различать тончайшие детали строе-

ния и состава горных пород. Причем приборы не только усиливают мощь органов чувств, но и дают нам как бы дополнительные органы восприятия. В этой связи нельзя не обратить внимание на расширение возможностей наблюдения с помощью космических полетов.

Наблюдения и снимки из космоса помимо высокой обзорности обладают свойством естественной генерализации геологических объектов. Они позволяют выявлять и прослеживать планетарные геологические структуры, в частности линеаменты — глубинные разломы земной коры. В отдельных случаях на космических фотографиях удается обнаружить изображение глубоко погребенных структур, которые как бы просвечивают сквозь фон покровных отложений. Исследования Земли из космоса позволили во многом по-новому представить строение континентов и обнаружить неизвестные ранее структуры континентальной коры. Так, в различных областях континентов в результате дешифрирования космических снимков были обнаружены концентрические структуры диаметром от нескольких до сотен километров.

Космические исследования несут новую информацию, которую нельзя получить при наземных исследованиях. С помощью космических полетов ученые изучили рельеф обратной стороны Луны — недоступный прямому наблюдению — минеральный состав лунного грунта, полученного из различных участков лунной поверхности в результате полетов станций «Луна-16», «Луна-20», «Луна-24», а также реализации программы «Аполлон». Вообще, значение космических исследований в науках о Земле возрастает, и круг геолого-геофизических задач, теоретических и практических, решаемых с их помощью, все более расширяется. Исследования с помощью космических аппаратов оформляются в самостоятельную научную дисциплину — космическую геологию [146].

Основная функция наблюдения — обеспечение новыми фактами, эмпирическими данными. В. В. Белоусов справедливо подчеркивает то, что «геолог — прежде всего наблюдатель», что «весь фундамент геологической науки создан именно региональными полевыми исследованиями» [26, с. 13]. С применением приборов,

новых технических средств количество информации резко возрастает. Косвенное наблюдение, когда объект можно изучать только с использованием технических средств, начинает все больше преобладать над прямым визуальным наблюдением. Достаточно упомянуть сейсмологические наблюдения, данные которых лежат в основе всех моделей внутреннего строения Земли. На основе анализа кривых зависимости скорости распространения волн от глубины и построена модель Земли и выделены ее структурные элементы: ядро, мантия, земная кора.

Следует отметить, что непосредственному наблюдению доступны только верхние части земной коры глубиной до 5—10 км. Об остальной части Земли, ее свойствах, строении, составе геология получает информацию от геофизики. Да и само создание и развитие последней связано с внедрением новых технических средств и методов наблюдения над природными объектами. В ряде случаев наблюдение с помощью тех или иных средств настолько усложняется, что довольно трудно провести границу между ним и экспериментом, к тому же в последнем это косвенное наблюдение играет важную роль.

Наблюдение имеет и критериальную, проверочную функцию. Оно чаще других методов используется для проверки различных теоретических положений в науках о Земле. Но доказательная ценность данных наблюдения как метода научного познания относительно невелика. Помимо того, что наблюдение не свободно от субъективных моментов и всегда является чувственной деятельностью, за пределами которой остается множество явлений действительности, оно, как писал Гегель, «доставляет нам восприятие следующих друг за другом изменений, или лежащих рядом друг с другом предметов, но оно не показывает нам необходимости связи» [50, с. 82—83]. И действительно, при изучении несложных явлений, выявлении внешних свойств и установлении простых связей наблюдение необходимо и часто достаточно, но чем сложнее объект, тем эффективность применения наблюдения меньше. Если, допустим, установлена связь россыпных месторождений района с современными речными отложениями, то достаточно выявлять эти отложения и промывать их.

С подобными задачами в прежние времена успешно справлялись старатели. В случае же выявления древних, погребенных россыпей, не связанных с современной речной сетью, наблюдение над отдельными участками их распространения не позволяет делать надежных выводов-прогнозов. Поэтому при усложнении проблем геологии, необходимости решения все более сложных теоретических и практических задач науки эвристическая роль наблюдения уменьшается. Наблюдение все больше дополняется другими методами исследования, да и само обогащается все более совершенной технической аппаратурой. Как образно выразился А. В. Сидоренко, старый девиз геолога — «Умом и молотком!» — должен уступить место девизу современной науки — «Умом и точным инструментом!» [148, с. 32].

В современной геологии наблюдение играет роль одного из основных методов исследования. Это объясняется многими причинами, наиболее существенными из которых, на наш взгляд, являются следующие. Геологические объекты столь грандиозны по масштабу и времени действия, что эксперимент часто невозможен. Данные моделирования не всегда можно переносить на природные объекты. К тому же наблюдение — это самый простой, доступный метод исследования, не требующий значительных затрат, а зачастую и высокой квалификации, глубоких теоретических знаний. И, наконец, данные наблюдения почти полностью удовлетворяли потребности науки, находившейся на описательной и эмпирической стадиях развития. Не случайно авторы учебников по геологии выделяют в качестве основного метода геологии наблюдение [132, с. 9]. О других методах геологии как науки эти авторы или не говорят, или кратко упоминают как чисто вспомогательные [70, 74].

Наблюдение всегда сопровождается описанием объекта. В отличие от непосредственного созерцания данные наблюдения описываются как можно тщательнее, полнее и адекватнее. Поскольку наблюдение имеет планомерный и целенаправленный характер, описание всегда специфично, оно направлено на выявление и фиксирование тех свойств объекта, которые составляют предмет исследования. Целью описания и являются

выделение объектов познания, их фиксация и обозначение. Поэтому данные наблюдения определенным образом систематизируются, объединяются по какому-либо признаку. Уже в процессе описания могут устанавливаться как факты, так и зависимости между ними.

Данные описания природных объектов составляют эмпирический базис науки, опираясь на который исследователи создают эмпирические обобщения, выдвигают те или иные гипотезы, которые после подтверждения превращаются в достоверное знание — теории. Поэтому каждая наука проходит описательную стадию, когда в основном «собираются» те или иные сведения об изучаемых объектах. По мере развития науки она переходит к следующей, более высокой степени развития, [illegible] наблюдение дополняется другими методами исследования. Поэтому вряд ли можно согласиться с мнением тех исследователей, которые утверждают, что современная геология в качестве основного метода имеет только наблюдение и описание.

Описание объектов познания служит предпосылкой для сравнения их по тем или иным свойствам, выявления общих свойств и связей, выяснения последовательных этапов их становления и развития. «Только после того,— отмечал Ф. Энгельс,— как естественно-научный и исторический материал до известной степени собран, можно приступать к критическому отбору, сравнению, а сообразно с этим и разделению на классы, порядки и виды» [8, с. 666].

Основные требования, которые предъявляются к научному описанию, направлены на то, чтобы оно было возможно более полным, точным и объективным. Описание должно давать достоверную и адекватную картину самого объекта, точно отображать изучаемые явления. Важно, чтобы понятия, используемые при описании, всегда имели четкий и однозначный смысл. При развитии науки, изменении ее основ преобразуются средства описания, часто создается новая система понятий. Более подробно мы рассмотрим этот вопрос при анализе роли математики в геологии.

Требование объективности описания направлено против субъективизма, предвзятости, предположений и непродуманных оценок, которые привносятся иссле-

дователем. Для геологического описания такое положение весьма характерно, хотя и затрудняет последующий анализ. В связи с этим Ю. А. Воронин сформулировал следующие требования к описанию геологических объектов: во-первых, оно должно быть правильным; во-вторых, оно должно отвечать определенной цели; в-третьих, оно должно по возможности учитывать имеющийся опыт геологического описания. В нем также не должно быть ничего формально лишнего [53, с. 153—154].

Само описание геологических объектов в зависимости от цели исследования и возможности его может быть простым и научным, качественным и количественным. Простое описание — это пассивное отражение данных наблюдения, как бы механическая регистрация наблюдаемых свойств природных объектов. Такой вид описания довольно распространен при полевом исследовании, когда только отбираются образцы и пробы для последующего анализа и исследования, а также фиксируются место и условия их отбора. Простое описание не требует высокой квалификации исследователя и по мере усложнения всего геологического исследования в основном будет использоваться лишь на самой начальной стадии изучения.

Научное описание не просто фиксирует все наблюдаемые свойства объекта, а вводит элементы сопоставления, сравнения отдельных частей описываемого материала, полнее характеризует наиболее существенные моменты в объекте. Обычно оно уже основывается на предварительном знании описываемых объектов, по крайней мере знании их общих, типичных свойств.

Полное описание направлено на получение исчерпывающих сведений об исследуемом объекте. Такой вид описания весьма редок, так как геологические объекты достаточно сложны и многоплановы, но в отдельных случаях полное описание вполне возможно — когда объект целиком доступен для изучения, а по строению не сложен. Так, весьма полно исследованы и описаны особенности, химический состав и свойства минералов, а также горных пород, слагающих внешние зоны земной коры. В большинстве же случаев полное описание объектов невозможно, да и нецелесообразно. Исследование, как правило, ограничивается

неполным описанием, предполагает определенную схематизацию, когда фиксируются существенные свойства изучаемых объектов с точки зрения конкретных целей познания. В зависимости от цели познания эти свойства могут изменяться, и поэтому описание одного и того же объекта может значительно варьировать.

В настоящее время в геологии исследователи стремятся сделать описание объектов как бы на все случаи, возможно более полное и подробное. Считается, что из этого описания специалисты различных геологических наук в дальнейшем могут получить всю интересующую их информацию. Но отсутствие специализации описания приводит к тому, что очень часто приходится вновь описывать природный объект, повторно изучать его. Поэтому И. Н. Нюберг так сформулировала следующие требования к описанию геологических явлений: «Следует: 1. Сознательно избегать «универсальных» расплывчатых описаний, которыми все равно нельзя пользоваться. 2. Четко формулировать задачи, чтобы было ясно, когда встречаются те же или близкие задачи и в каком смысле близкие. 3. Стремиться кроме констатации фактов приводить экспериментально проверяемые соображения о причинах, приведших к этим фактам. 4. Отказаться для объяснения тех или иных явлений от генетических представлений, если нет возможности их проверить. 5. Основной упор делать на анализ условий, при которых результат данного исследования может быть использован другими, в какой мере и до каких пор» [126, с. 24].

Качественное описание как бы представляет объект, дает самое общее знание о нем. Оно выполняется на естественном языке с добавлением специальных понятий науки. При этом не употребляются четко фиксированные понятия и точные (математические) характеристики исследуемых объектов. Именно такое описание преобладает в настоящее время в геологии.

Количественное описание всегда основано на использовании математического аппарата, измерении и числовой характеристике различных сторон и свойств, а также связей объекта изучения. Научное измерение осуществляется при наличии эталона, единицы измерения и измерительного прибора. В геологии применяется в основном прямое измерение, в меньшей сте-

пени — косвенное. В целом в истории естествознания характерной тенденцией является переход от качественного описания к количественному, более точному.

Следует отметить, что наблюдение и описание — это не только исходные формы познания — они пронизывают весь процесс познания, начиная с описательной стадии развития науки, когда эти методы были одними из основных, и до теоретической стадии, где роль их уже вспомогательная.

Таким образом, наблюдение по-прежнему играет огромную роль в геологии, как один из основных методов этой науки. Это связано с тем, что наблюдение — наиболее простой и доступный метод эмпирического исследования. Геологические объекты относятся к макроскопическому уровню организации вещества, доступному непосредственному визуальному изучению. Наблюдение обеспечивает науку фактическим материалом, разносторонней информацией о природных объектах. Кроме того, с его помощью проверяется значительная часть теоретических положений геологии. Но доказательная сила данных прямого наблюдения невелика. Поэтому этот метод все больше берет на вооружение новые технические средства, все больше опирается на новые теоретические положения. Основная тенденция развития наблюдения — переход от прямого наблюдения к опосредованному, от качественного описания к количественному.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Эксперимент является одним из основных методов современного естествознания. Под естественнонаучным экспериментом понимается реальный процесс практики научного исследования, который включает воспроизведение явлений природы в необходимых условиях; преднамеренное создание новых, искусственных объектов, а также фиксирование, наблюдение, измерение экспериментальных данных, результатов посредством специальных аппаратов [147, с. 48].

Выявлена интересная закономерность: чем шире эксперимент применяется в данной отрасли науки, тем быстрее она развивается. Не случайно учебники экспе-

риментальных наук стареют много быстрее, чем наук описательных [23, с. 8].

Возрастание роли эксперимента в современной науке обусловливается включением в процесс познания все новых объектов и явлений, ростом технической оснащенности, совершенствованием методики проведения экспериментов. Этому способствует активное взаимодействие наук, исследование и решение ряда методологических проблем, «космизация» наук и т. п.

Достоинством экспериментального метода является возможность изучения явлений природы «при условиях, обеспечивающих ход процесса в чистом виде» [5, с. 6]. Экспериментатор, активно создавая, воспроизводя исследуемые предметы и явления природы, изучает их в необходимых для него условиях, изолируя их от нарушающих влияний. При этом в эксперименте могут быть воспроизведены не только наблюдаемые, но и не наблюдаемые непосредственно свойства и объекты действительности, что очень важно в геологии, которая еще не имеет возможности проникнуть в глубь Земли. Эксперимент может создавать и такие ситуации, которые уже были на нашей планете, т. е. позволяет проникать в прошлое.

Помимо этого в эксперименте изучаемый объект может подвергнуться любым изменениям и превращениям, причем условия опыта могут быть практически воспроизведены бесчисленное множество раз. Вводя все новые и новые факторы, планомерно изменяя их воздействие, исследователь выделяет наиболее существенные стороны объекта. Изменение условий дает возможность получить количественную характеристику процесса и выяснить относительное значение отдельных факторов в нем.

Другим достоинством эксперимента по сравнению с наблюдением является активное вмешательство исследователя в сам процесс, возможность влияния на его ход. Если наблюдение «подслушивает» природу, то эксперимент ее как бы «допрашивает». При этом эксперимент не исключает наблюдения. Без последнего он вообще невозможен, ибо наблюдение — исходный пункт, необходимое условие и ближайшая цель эксперимента. Действия экспериментатора — это то же наблюдение, только в наиболее благоприятных для изу-

чения объекта условиях. При наблюдении природных явлений исследователи не нарушают реальных связей объектов исследования с окружающим миром и выделяют интересующую сторону умозрительно, в эксперименте же практически вычленяются нужные объекты и явления. Наблюдение дает возможность судить лишь о внешних сторонах объекта, поскольку все органы чувств человека имеют весьма ограниченные пределы, эксперимент же проникает глубоко внутрь как наблюдаемого, так и ненаблюдаемого мира, тем самым обеспечивая материал для выявления сущности объекта исследования. И. П. Павлов писал, что «опыт как бы берет явления в свои руки и пускает в ход то одно, то другое и таким образом в искусственных, упрощенных комбинациях определяет истинную связь между явлениями. Иначе сказать, наблюдение собирает то, что ему предлагает природа, опыт же берет у природы то, что он хочет» [130, с. 274].

Для эксперимента необходимы определенные знания об объекте исследования, которые составляют теоретический базис эксперимента. Чаще всего это определенная гипотеза, теоретическая идея, которую надо проверить. Не случайно эксперимент применяется на вполне определенном уровне развития науки, когда накопленные знания систематизированы. При помощи теоретической, абстрагирующей деятельности выделяется сам объект исследования и проводится проверка гипотезы. Теоретическая деятельность нужна как при подготовке эксперимента, так и на каждом этапе его проведения, ибо в нем нельзя обойтись без абстракции, экстраполяции, без анализа и синтеза, индукции и дедукции.

Связь эксперимента и теории настолько тесна, что можно говорить о существовании теоретической стадии эксперимента. На этой стадии экспериментатор ставит определенную познавательную задачу, намечает цель эксперимента, конкретизирует ее при помощи представлений о возможном характере причинно-следственной связи, которая должна быть исследована, и т. д. Разрабатывается программа проведения эксперимента и пути ее реализации.

Эксперимент может быть и мысленным, осуществляемым лишь в сознании экспериментатора. В ходе его

исследователь оперирует идеальными объектами. При этом некоторые количественные характеристики объектов доводятся мысленно до крайних логически возможных значений. В основе построения идеального объекта лежит абстракция потенциальной осуществимости, т. е. отвлечение от реальных конструктивных возможностей человека. Абстрагирование от второстепенного в представлении об объекте значительно огрубляет его, но зато более четко выделяются существенные связи и отношения.

Между мысленным и материальным экспериментами много общего: и в том и в другом исследуется материальный мир. Все мысленные операции с идеальными объектами производятся по объективным законам природы. Логическое мышление и здесь исходит из чувственного материала и играет главную роль, так как в конечном счете исход эксперимента зависит от правильности мышления. Огромную роль в мысленном эксперименте играют творческое воображение, научная фантазия, интуиция ученого. Они позволяют в ряде случаев вскрыть такие связи явлений, которые не могут быть получены в материальном эксперименте.

Мысленный эксперимент обладает доказательной силой, если его предпосылки и принципы практически подтверждены, а к промежуточным звеньям правильно применены законы мышления, т. е. не допускались логические ошибки в ходе исследования. История науки — особенно физики (мысленные эксперименты Галилея, Майера, Максвелла, Эйнштейна, Бора, Гейзенберга) — свидетельствует о плодотворности мысленного эксперимента. В то же время следует иметь в виду, что абстрагирование и идеализация чреваты возможностью оторваться от действительности. Кроме того, часто трудно правильно оценить полученные неожиданные результаты. Поэтому выводы мысленного эксперимента нуждаются в проверке на практике.

Особенно велика эвристическая роль мысленного эксперимента на первоначальном этапе развития новой теории. Когда создаются некоторые варианты разрешения противоречия между эмпирическими данными и существующей теорией, формируется стратегия исследования, выдвигаются новые гипотезы.

В геологии мысленные операции с идеальными объ-

ектами находят широкое применение. Они в определенной степени также мысленные эксперименты, которые опираются, правда, на гипотетические положения. Так, многие положения об образовании магмы, ее внедрении и влиянии на вмещающие породы, о тектонических процессах основаны именно на таких мысленных экспериментах. Только их особенностью является то обстоятельство, что оперирование идеальными объектами происходит интуитивно, не опирается на точные положения и формализованные понятия. Поэтому несмотря на наглядность мысленных экспериментов в геологии, последние мало доказательны, ибо предпосылки их гипотетичны, а логические правила оперирования с понятиями не соблюдаются.

В целом можно сказать, что связь эксперимента с теоретическим мышлением носит сложный характер: с одной стороны, эксперимент строится на основе некоторой системы научных знаний, с другой — он порождает новое, более совершенное и глубокое теоретическое построение. Эксперимент опирается на теоретические данные, а новая теория вырастает из эксперимента. Вместе с тем теоретические и гипотетические положения проверяются вновь экспериментом, а с их помощью осмысливаются новые данные.

В другом аспекте эксперимент есть непосредственная предметная деятельность. Обычно в данной деятельности используются определенные орудия исследования, позволяющие активно вмешиваться в ход событий, изменять их условия и т. д. Приборы здесь и средства наблюдения, измерения, и орудия воздействия на изучаемый объект — приборы управления, регулирования, контроля. В геологии, в частности, это различные автоклавы, установки для достижения высокого давления и т. п.

Экспериментальные средства в отличие от простого наблюдения опосредствуют отношение человека к предмету исследования, и в эксперименте исследователь имеет дело уже не с самими изучаемыми явлениями и объектами, а с экспериментальными установками, приборами, инструментами, которые воздействуют на эти объекты и дают экспериментатору информацию об объекте. Экспериментальные средства не только количественно увеличивают познавательные возможности,

но и позволяют осуществить такие качественные преобразования в объектах исследования, которые делают недоступный прежде предмет косвенно доступным для чувственного восприятия.

Характерная черта эксперимента — его целенаправленный и планомерный характер. Исследователь может в соответствии со своими задачами выбирать методику и изменять как экспериментальные средства, так и операции с объектами познания. Эксперимент есть управляемый процесс, которому предшествует осознанная цель, и который проводится по определенному плану.

В геологическом исследовании нашли применение критериальные, проверочные (для подтверждения гипотез), поисковые, исследовательские и информационные, измерительные эксперименты.

Очень часто для объяснения того или иного природного процесса высказывается ряд гипотез. Данные, полученные в результате эксперимента, позволяют выяснить «механизм» образования конкретного геологического объекта, сущность и зависимость от отдельных факторов, что может иметь решающее значение для проверки гипотез, доказательства истинности одной из них. Эксперимент способствует превращению такой гипотезы в теорию. Теория получает в этом случае эмпирическое подтверждение, становится верифицированной. Верификация включает в себя таким образом два этапа. К первому относится процедура логического выведения конечных следствий из гипотезы или теории, а ко второму — планирование и осуществление экспериментов, соответствующих выводам, следствиям этих теоретических положений. Причем данные эксперимента при прочих равных условиях более доказательны, чем данные моделирования, ибо в эксперименте изучаются непосредственно объекты природы, а не их заместители, и поэтому отсутствует необходимость обоснования теории переноса знания с модели на изучаемый объект. «Практика выше (теоретического) познания,— писал В. И. Ленин,— ибо она имеет не только достоинство всеобщности, но и непосредственной действительности» [12, с. 195].

Заключительное звено эксперимента — теоретическое осмысление результатов непосредственного экспе-

риментирования, которое затем экстраполируется на аналогичные явления. Осмысление опыта и соотнесение с исходными предположениями создает основу для выдвижения новых гипотез и для последующих теоретических исследований, ведущих к установлению научных законов, объясняющих явления природы. Правильность интерпретации итогов эксперимента — необходимое условие постижения объективных свойств и закономерностей изучаемых процессов.

Данные научного эксперимента в ряде случаев заставляют отказаться от принятой гипотезы, причем отрицательный результат также источник развития знаний, ибо способствует выдвижению новых идей, новых гипотез или вынуждает ставить новые эксперименты несколько измененного характера и при иных условиях.

Опыты по зонной плавке каменных метеоритов — хондритов позволили акад. А. П. Виноградову выдвинуть новую гипотезу происхождения оболочек Земли. Они, по его мнению, возникли в результате дифференциации вещества мантии Земли. Данные этих экспериментов свидетельствовали о том, что расщепление хондритов имело две фазы: жидкое, легкоплавкое, более кислое по составу, чем материал хондрита, обогащенное летучими компонентами вещество, и твердое, более тугоплавкое — дунит. Аналогично происходили, по А. П. Виноградову, процессы выплавления и дегазации вещества мантии Земли, отвечающего по составу хондритам, приведшие к образованию базальтовой оболочки земной коры, атмосферы и гидросферы. Последние оболочки, таким образом, это вторичные образования на нашей планете [40].

Экспериментальные исследования фазовых превращений минералов при высокой температуре и давлении, соответствующим большим глубинам Земли, привели к открытию новых модификаций кварца, заставили пересмотреть представления о природе и строении земных недр.

Следовательно, эксперимент имеет важное эвристическое значение, являясь источником новых знаний, причиной выдвижения новых гипотез. Однако эксперимент всегда единичен, а для окончательного вывода необходима бесконечная серия наблюдений и экспери-

ментов, что недостижимо. Отдельный эксперимент может только увеличить вероятность той или иной гипотезы. Поэтому окончательная верификация гипотезы — дело сложное и практически невозможное. Но наука довольствуется более или менее достоверным подтверждением — она оперирует, как правило, относительными истинами. Кроме того, всякий эксперимент возникает на основе определенного уровня теоретических знаний и практики, технического уровня данной эпохи и, значит, ограничен ими. Что же касается отрицательного результата эксперимента, то в этом случае опровержение положенной в его основу гипотезы может быть окончательным, ибо при ложности следствия ложно и основание.

Но эксперимент не только относителен, он и абсолютен по своей форме, по возможности познания объективной действительности. Преодоление ограниченности экспериментов достигается обогащением экспериментальной техники, все более глубоким проникновением в сущность исследуемых явлений и предметов. Для устранения субъективных индивидуальных ошибок экспериментатора используются такие приемы, как увеличение числа экспериментов, проведение их несколькими лицами, использование математической статистики и т. д. На основании современных методов математической статистики в последние годы разрабатывается новая дисциплина — математическая теория эксперимента.

Большую роль в геологии играют информационные эксперименты, которые ставятся с целью получения конкретных количественных характеристик. С их помощью определяются различные параметры геологических процессов. В петрографии, например, эксперименты позволяют установить температуру плавления, фазового и полиморфного превращения, распада минералов, образования эвтектики и т. п.

Однако рассматривая применение эксперимента в геологии в сравнении с другими методами и в других естественных науках, можно отметить, что ему уделяется довольно скромная роль. Несмотря на то, что история его применения в геологии превышает два столетия, многие исследователи к эксперименту относятся скептически [49, 142, 168], в лучшем случае счи-

тая его второстепенным методом исследования, подчиненным более важному — актуализму.

Одни из первых экспериментов в геологии были проведены Н. Стеноном. Не ограничиваясь ролью наблюдателя, он обращался к помощи лабораторного эксперимента по кристаллизации искусственных веществ [173, с. 91]. Первые систематические эксперименты на рубеже XVIII и XIX вв. провел Дж. Холл. Эти опыты наметили три главных направления исследований: в области создания искусственных минералов и кристаллов, в области петрографии и учения о магме, в области природы складчатых структур и деформаций горных пород [98, с. 271]. Во второй половине XIX в. А. Дебре создал четвертое направление — исследование процессов разрушения и переноса материала горных пород и его транспортировки. Он провел и «космические» эксперименты — с метеоритами.

Использование высоких давлений и температур значительно увеличило возможности эксперимента в геологии. Сейчас есть возможность изучать геологические объекты в условиях всего диапазона давлений и температур, существующих в земном шаре.

В отдельных геологических науках эксперимент играет неодинаковую роль. В палеонтологии, например, он не применяется, а в минералогии, литологии и петрографии является одним из основных методов. В этих науках он используется не только для получения количественных данных: температуры плавления, фазового превращения и т. д., но и для выяснения условий породообразования. В минералогии на экспериментах базируется создание таких искусственных минералов, как рубины, алмазы и др.

Многие теоретические положения в петрографии основаны на данных экспериментов. Не случайно И. В. Лучицкий отмечает, что «теория кристаллизационной дифференциации потому и стала ведущей теорией в петрографии, что она целиком опирается на экспериментальные исследования, связанные с плавлением и кристаллизацией изверженных горных пород в лабораторных условиях» [98, с. 274].

Важную роль играет эксперимент в тектонике. С его помощью изучаются деформации различных горных пород. Причем здесь основная проблема — ком-

пенсация фактора времени, ибо не учитывать время невозможно. Часто действие времени компенсируется увеличением интенсивности процессов, увеличением температуры и др.

Для выяснения многих вопросов эндогенного рудообразования большое значение имело экспериментальное изучение с помощью физических методов ультра- и микропористости минералов и горных пород, их электрокинетических и физико-химических свойств, термолюминесценции минералов, а также структуры минералов и ее изменения. Из геохимических методов в этих целях применялось экспериментальное изучение элементов-примесей как индикаторов процессов рудообразования и изучение газовой составляющей горных пород и руд [127].

Широко используется эксперимент в геофизике. Так, данные о внутреннем строении Земли геология получает на основании геофизических экспериментов. В результате сейсмических исследований было установлено, что скорость распространения упругих волн через толщу земной коры, мантию и ядро Земли различна. Геофизические данные интерпретируются при помощи экспериментальных исследований. Физические эксперименты с горными породами позволили определить скорости распространения в них продольных волн и сделать определенные выводы о составе и свойствах различных оболочек Земли. Эти выводы лежат в основе всех современных моделей внутреннего строения Земли.

В геологии получает развитие и производственный эксперимент. Производственный эксперимент — это и часть материального производства, и метод научного познания. С его помощью наука непосредственно связывается с техникой, теория познания — с практикой. Новая отрасль наук геологического цикла — геотехнология — занимается вопросами эксперимента непосредственно в природных условиях. «Методы геотехнологии,— пишет И. П. Кириченко,— позволяют практически создавать в земной коре разные процессы, в том числе гидротермальные и пневматолитические. Экспериментальное исследование этих процессов прольет свет на многое, что сегодня остается неясным в области рудообразования» [78, с. 323]. Выяснение ос-

новных закономерностей геологических процессов позволит осуществить прямое, непосредственное влияние науки на материальную практическую деятельность, позволит в будущем «создавать» месторождения полезных ископаемых новых типов.

Необходимо отметить, что характер и значение эксперимента в геологии, как и в других науках, существенно изменились с момента его применения. Это связано с развитием науки и с увеличивающимся влиянием в геологии идей и методов точных наук. Если на первых этапах эксперимент применялся эпизодически и в основном для определения принципиальной возможности того или иного процесса, его качественной характеристики, то затем он взял на себя новые функции, т. е. стал использоваться для выяснения количественных характеристик влияния отдельных факторов на ход и результаты процессов.

Эксперимент важен для геологии еще и потому, что он является формой проникновения в нее методов других естественных наук. «Результаты экспериментов и моделирования,— считает В. В. Белоусов,— вместе с более точным изучением природных явлений вытеснят в геологии полупродуманные соображения и «привычные представления», доказанность которых основывается зачастую просто на многократном повторении одних и тех же утверждений» [24, с. 22]. Физические и химические методы исследования благодаря эксперименту способствуют взаимообогащению, усилению связи между точными науками и науками о Земле, повышению теоретического уровня последних. «По степени глубины и широты использования экспериментальных методов в геологии,— пишет Г. Б. Жилинский,— в наше время даже принято судить о научном уровне и актуальности проводимых геологами исследований» [69, с. 3].

Однако в целом геология остается еще в значительной степени эмпирической наукой. Интересно в этом отношении сравнение геологии и биологии. Их историческая судьба и положение имеют много общего. В XVIII—XIX вв. обе науки находились в процессе становления и имели преимущественно описательный характер. Геология как стройное учение об истории Земли начинается с работ Ч. Лайеля, а биология —

с работ Ч. Дарвина. Этот этап продолжался до 30-х годов текущего столетия. После него темпы развития биологии резко возросли благодаря ряду фундаментальных открытий, прежде всего в молекулярной биологии и биохимии, оказавших глубокое влияние на все другие разделы биологической науки. В современной биологии резко возросла эвристическая роль идей и методов точных наук. Увеличивается и значение самой биологии, она становится одной из ведущих отраслей естествознания, претендуя, не без основания, на роль его будущего лидера. Интересно, что основным методом биологии на современном этапе ее развития становится эксперимент [162].

Так и в геологии — по мере ее развития роль эксперимента, этого основного метода современного естествознания, будет возрастать.

Глава III

ЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Применение любого из общенаучных методов исследования есть определенный сложный процесс мышления; оно включает в себя ряд элементарных, преимущественно логических операций. Эти составные элементы носят идеальный характер, хотя операции анализа, синтеза и сравнения присущи любой практике человека. Логические методы, естественно, могут иметь и самостоятельное значение, применяться в «чистом виде», но в большинстве случаев они органично включены в саму ткань исследования. При этом роль логических методов возрастает, выявляются все более существенные связи в объектах, наука все больше отходит от простых, наглядных образов. В этих условиях строгость и точность выводов в громадной степени зависят от соблюдения логических правил и требований. Пренебрежение логическими требованиями в ряде геологических исследований значительно затрудняет получение достоверных результатов, препятствует применению математики и ЭВМ.

Если общая тенденция развития знания есть стремление к логической строгости, формализации, то эта тенденция должна проявиться и в геологии. Возможности логических методов в формализованных системах раскрываются гораздо полнее, чем в неформализованных. Это определяется, во-первых, явной и четкой формулировкой всех исходных посылок, во-вторых, их непротиворечивостью. В формализованных системах получает широкое распространение дедуктивный логический вывод, который имеет однозначный результат, появляется возможность более широкого использования ЭВМ, выполняющих многие логические функции.

Рассмотрим такие логические формы, методы, как сравнение, аналогия и гипотеза.

СРАВНЕНИЕ И АНАЛОГИЯ. АКТУАЛИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД

Специфика сравнительного исследования

Наблюдение и описание создают эмпирическую основу дальнейшего исследования. Описательный материал осмысливается, анализируется, и при этом выявляются общие и индивидуальные свойства ряда объектов. Таким образом, в основе анализа и обобщения эмпирического материала лежит сравнение, применение сравнительного метода. Сравнение как элементарный логический метод пронизывает все методы исследования наук о Земле.

Сравнение — это форма научного познания, применяемая для установления сходства и различия двух или нескольких явлений в целом или по каким-либо признакам. Когда устанавливаются и одинаковые, и различные признаки сравниваемых явлений, такое сравнение считается полным, а когда только или общие, или различные признаки — неполным.

С помощью сравнения осуществляется познание единичного, особенного и всеобщего, а также изменчивости объектов и явлений, часто выявляются причины явлений, производится систематизация и классификация объектов познания. При участии сравнения совершается опосредованное познание действительности путем

умозаключения, и поэтому оно является одним из необходимых средств доказательства [101, с. 45].

Сравнительный метод позволяет выявить самые общие эмпирические связи, установить закономерности, с которых исторически и начинались многие науки, в частности физика, химия, география, сравнительная анатомия и морфология. К. Маркс отмечал, что сравнительная анатомия, ботаника, языкознание достигли больших успехов именно благодаря сравнению [3, с. 443]. К этой же группе наук вполне можно отнести и геологию, где сравнительный метод стал применяться в середине XVIII в. С помощью сравнения устанавливались черты сходства и различия геологических объектов: минералов, горных пород, руд, отдельных регионов и материков, выявлялись многие закономерности природных процессов. Выявление общих черт в геологическом строении и рудоносности служило уже в то время основой для научных прогнозов. Постепенно научное исследование становилось все более сложным: объекты сравнивались не только по внешним свойствам, но и по внутренней структуре, что приводило к выявлению более существенных связей. Так, минералы сначала сопоставлялись в основном по физическим свойствам (цвет, блеск, твердость, прозрачность и т. п.) и классификации их были во многом искусственными. С изучением химического состава минералов появляется новая, более существенная основа сравнения, и классификация минералов производится по химическому составу.

Выдающимся результатом использования сравнительного исследования и обобщения явилось создание учения о геосинклиналях в середине XIX в. Накопление огромного фактического материала о строении, мощности отложений, характере складчатости отдельных регионов нашей планеты и его обобщение позволило выделить подвижные области земной коры — геосинклинали. Учение о геосинклиналях сыграло огромную роль в развитии геотектоники (и геологии в целом) и явилось ключом к пониманию эволюции земной коры.

Помимо применения в чистом виде сравнение органически входит во все методы геологического исследования. Даже в описании оно играет определенную роль,

особенно в научном. Без сравнения невозможна классификация исследуемых объектов, сопоставление объектов имеет место в моделировании и эксперименте. Гипотеза, аналогия также зачастую основаны на сравнении предметов и процессов. Особенно тесна взаимосвязь сравнительного метода с историческим, в котором сравнение используется и для выявления отдельных этапов развития системы, и для создания необходимой эмпирической основы исторического исследования. В геологии самостоятельным методом считается сравнительно-исторический, а некоторые исследователи склонны рассматривать его в качестве ведущего.

В геологии, пожалуй, как ни в какой другой науке, имеет значение определение объектов, их классификация. Если в физике или химии исследуется заранее известный хотя бы в основных чертах объект, то в геологии само исследование, как правило, начинается с определения. Для того чтобы определить геологическое образование, необходимо установить сходство его с другими аналогичными образованиями. Так, для определения породы, выявления ее генезиса необходимо не только знать ее состав, но и сравнить его с известными породами. Очень часто уже в самом определении породы отражается и ее состав, и происхождение.

На основе сходства явлений можно делать и прогнозы. Допустим, все реки, протекающие по различным комплексам пород, золотоносны. Геологи находят общий для всех районов комплекс пород и именно с ним связывают наличие золота, хотя этот вывод и имеет вероятностный характер.

Геологические процессы весьма сложны и многоплановы, и одно и то же следствие может быть вызвано различными причинами. Поэтому найденное общее обстоятельство или условие может быть только элементом совокупности явлений, а не причиной в целом. Точное определение причины зависит в таком случае от степени изученности объекта. Сходство может устанавливаться в ряде случаев с помощью математических методов, в частности коэффициента корреляции.

В процессе сравнения геологических объектов, как уже сказано, выявляются не только их сходство, но и различие. Если при изменении одного условия появляется новое следствие, а при изменении других усло-

вий оно не появилось, то делается вывод, что именно это условие связано причинной зависимостью с новым следствием. Сложность геологических явлений и теперь не позволяет сделать достоверное заключение, но выводы на основе различия более вероятны, чем на основе сходства, ибо последнее связано с наблюдением, а установление различия — с экспериментом. Более надежным сравнительное исследование становится при выявлении и сходства, и различия.

Модификацией метода сходства и различия является метод сопутствующих изменений. С помощью этого метода исследуется одно и то же явление в одинаковых — за исключением одного — обстоятельствах. Действие же этого одного обстоятельства, которое предполагается причиной данного явления, усиливается или ослабляется. Если изменяется при этом и само явление, значит, предположение о причинной связи подтверждается. Метод сопутствующих изменений применяется обычно при экспериментальных исследованиях, но может быть использован и при наблюдении. Например, аллювий современных рек, текущих параллельно и размывающих один и тот же комплекс горных пород, золотоносен. Предполагается, что золотоносность аллювия связана с размывом более древнего аллювия. Наблюдением же установлено, что чем больший участок древней долины размывает современная река, тем ее россыпь более значительна по размерам и богаче золотом. В результате вероятность вывода о связи золотоносности с размывом древнего аллювия возрастает.

В сравнительное исследование входит и метод остатков. Если ясно, что совокупность определенных обстоятельств есть причина сложного явления, и известно влияние каждого обстоятельства, то необъясненные феномены имеют, очевидно, причиной новое, еще неизвестное обстоятельство.

Сравнение находит широкое применение почти во всех исследованиях природных процессов. Академик Н. С. Шатский, подчеркивая значение сравнительного метода в тектонике, писал: «Этот метод... позволяет установить тектонические гомологи, иногда и сильно отличающиеся в деталях, но сходные по происхождению, позволяет глубже и подробнее выяснить процесс

развития структур... Этим методом удастся несомненно вскрыть те закономерности развития земной коры, которые нельзя добыть другими способами. Поэтому разработка сравнительного метода в геотектонике является одной из важнейших задач в нашей науке» [171, с. 24].

На основе применения сравнительного метода в литологии развивается специальное сравнительно-литологическое направление, которое позволило вскрыть многие закономерности в образовании осадочных горных пород. Академик Н. М. Страхов следующим образом характеризует его содержание: «Сущность сравнительной литологии, как научного направления, заключается в том, что: 1) в основу познания осадкообразовательного процесса кладется детальное и всестороннее изучение современного осадконакопления и присущих ему закономерностей; 2) путем сопоставления (сравнения) ископаемых осадков отдельных геологических периодов друг с другом и с современными отложениями устанавливаются черты сходства и различия древних и современных явлений седиментации и таким образом реконструируется в рамках относительной и абсолютной геохронологии эволюция осадконакопления от древнейших времен до текущего геологического момента; одновременно вскрываются закономерности, присущие этой эволюции, и анализируется механизм, их вызывающий» [152, с. 35]. В этом направлении, как видно из высказывания, помимо сравнения, используются и исторический метод и моделирование, но ведущая роль сравнения подчеркнута небезосновательно.

Сильной стороной сравнительно-литологического метода М. Н. Страхов считал «его способность, путем сопоставления настоящего с прошлым, вскрывать не только черты сходства, но и признаки отличия древнего осадочного процесса от современного и тем самым выявлять конкретные черты необратимой эволюции осадкообразования в истории Земли» [153, с. 212].

Сравнительный метод используется и в палеонтологии. В основе работы палеонтолога лежит сравнение родственных ископаемых форм организмов между собой и с ныне живущими. Наличие среди современной фауны или флоры представителей древних групп сильно облегчает понимание ископаемых остатков. Даже

при изучении вымерших групп организмов палеонтологи обращаются к современному миру в поисках аналогий, проливающих свет на образ жизни ископаемых форм.

Метод сравнения вместе с тем обладает специфичностью и вполне определенной областью применения. Для того чтобы сравнение было плодотворным, необходимо определенное знание о сравниваемых предметах. Ф. Энгельс отмечал, что только с накоплением фактического материала становится возможным и необходимым применение сравнительного метода [7, с. 353]. Сравниваться должны такие объекты, которым свойственна некоторая объективная общность. Без этого сравнение будет беспредметным, а выводы ложными. Кроме того, сравнение должно производиться по наиболее важным, существенным признакам и свойствам объектов, а не по внешним, случайным свойствам. «Всякое сравнение,— писал В. И. Ленин,— уподобляет лишь одну сторону или лишь некоторые стороны сравниваемых предметов или понятий, абстрагируя временно и условно другие стороны» [10, с. 358].

В настоящее время значение сравнительного метода, несмотря на появление новых методов, не уменьшается. Сама основа сравнения, благодаря более полному и глубокому изучению природных процессов, становится более доказательной. От сравнения внешних сторон и свойств природных объектов геология переходит к сравнению их сущности, все более глубоких связей. Изучение других планет солнечной системы, и прежде всего Луны, открывает новые возможности использования сравнения для установления новых, более общих закономерностей.

В процессе сравнительного исследования большую роль играет и такая логическая форма, как аналогия.

Роль аналогии в познании

Аналогия — одна из древнейших форм познания человеком природы. Как важнейший элемент научного исследования она пронизывает всю деятельность человека. Под аналогией обычно понимают сходство между явлениями. Сравнивая два или несколько предметов

или явлений и находя общие черты их, говорят об аналогии или выводе по аналогии. В логике под аналогией понимают определенный тип умозаключения. «Умозаключением по аналогии,— пишет В. Ф. Асмус,— называется вывод от сходства двух предметов в одной части их признаков к вероятному сходству их в другой части признаков, когда эти другие признаки уже найдены в первом предмете, но еще неизвестно, окажутся ли они в другом предмете» [18, с. 301].

Аналогия может быть ассоциативной и логической. Первая носит образный характер и играет большую роль в выдвижении новых идей. Логическая аналогия возникает при параллельном изучении и сравнении ряда явлений. Аналогия — основа описания и первичного объяснения фактов. Так, в геологическом исследовании уже определение изучаемого объекта, производимое с помощью аналогии, дает представление о его составе и генезисе. Новые научные данные описываются по аналогии с уже известными, изученными. Это представляется наиболее простым, а зачастую и единственно возможным, пока строгого логического вывода и объяснения наука не имеет. Сохраняет свое значение аналогия и на более высоких уровнях познания. Очень часто с ее помощью происходит объяснение явлений и их классификация.

Роль аналогии особенно велика в нахождении нового знания, в возникновении и обосновании догадок и предположений, в выдвижении новых идей. Многие гипотезы как частного, так и общего характера были созданы на основании выводов по аналогии. По сходству признаков каких-либо предметов делался вывод о вероятности сходства и других признаков. Основанием для такого предположения служит закономерный характер развития материального мира, материальное его единство: изменение одного существенного признака какого-либо предмета неизбежно сказывается и на других его признаках.

Некоторые заключения по аналогии оказываются ошибочными, и поэтому наука от них отказывается, но многие догадки и гипотезы, возникшие путем аналогии, оказались верными, истинными. Так, на основе аналогии с нашей планетарной системой в начале XX в. в физике была выдвинута гипотеза об аналогич-

ном строении атома. В геологии природные образования считаются имеющими одинаковый возраст, если установлена аналогия либо состава, либо стратиграфического положения, либо остатков фауны и флоры. Как справедливо отмечал Д. Пойа, «аналогия, по-видимому, имеет долю во всех открытиях, но в некоторых она имеет львиную долю» [136, с. 36].

В развитых естественных науках, в физике например, на основе аналогии идет поиск даже наиболее фундаментальных законов. Аналогия между ускорением и тяготением использована А. Эйнштейном и положена в основу общей теории относительности. Переносы классических понятий (частицы, траектории и т. п.) в сферу атомной и субатомной физики производились также по аналогии.

Аналогия может использоваться и для доказательства тех или иных положений. Для этого необходимо строгое,— как правило, математическое,— обоснование переноса информации с аналога на изучаемый объект.

Применение метода аналогии предполагает определенную последовательность познавательных процедур [100, с. 45—50]. На первом этапе происходит формулировка требований к предполагаемому прототипу и определяется цель процесса аналогизирования. Второй этап — поиск и выбор прототипа, который бы наиболее полно отвечал условиям задачи. Далее устанавливается система сходных свойств в объекте и прототипе. В ходе этого этапа сопоставляются соответствующие свойства сравниваемых предметов с точки зрения количества сходных и различных черт и их существенности. Следующий этап — перенесение (экстраполяция) информации с изученных объектов на неизвестные, вывод, умозаключение. Вывод по аналогии — главная составная часть метода аналогии, определяющая его основные свойства.

Изучение аналогии привело к выделению ряда правил, выполнение которых может сделать вывод по аналогии если не достоверным, то близким к достоверности. Эти правила следующие:

1) число общих свойств двух сравниваемых предметов должно быть возможно большим;

2) эти свойства должны быть любыми свойствами

сравниваемых предметов, т. е. подбираться «без предубеждения» против свойств какого-либо типа;

3) они должны быть возможно более разнородными;

4) они должны быть возможно более характерными для сравниваемых предметов, т. е. выражать их сущность;

5) переносимое свойство должно быть того же типа, что и в посылках;

6) свойства двух сравниваемых предметов должны быть возможно более специфичными для них, т. е. принадлежать возможно меньшему кругу предметов;

7) переносимое свойство, наоборот, должно быть наименее специфичным, т. е. принадлежать возможно большему кругу предметов [125, с. 290].

Общее для всех выводов по аналогии заключается в том, что информация с одного объекта переносится на другой. Непосредственно исследуемый объект является моделью другого предмета — оригинала. Оригинал же не исследуется из-за своей сложности, огромных масштабов или в силу недоступности прямому исследованию. Так, ученые не могут исследовать непосредственно процессы на многих планетах Солнечной системы или в глубинах Земли, но на основании аналогии мы получаем новые знания об этих объектах. Причем с помощью аналогии часто выявляются и причинные связи явлений.

Выводы по аналогии могут иметь и вполне достоверный характер, когда исследуется модель (один сравниваемый предмет), созданная на основе требований теории подобия. Выводы такой модельной аналогии могут использоваться и для доказательства тех или иных положений.

Особенно большое развитие аналогия получила в кибернетике. В настоящее время считается общепринятым, что в основе этой науки лежат именно выводы по аналогии, т. е. использованы аналогия организма и механических устройств, аналогия функционирования систем.

В основе метода актуализма также лежит аналогия. Результаты изучения современных процессов переносятся по аналогии на прошлые процессы, что позволяет восстанавливать историю нашей планеты. Возможность такого переноса основана на действии единых геологи-

ческих законов, на преемственности развития, на сходстве причин, имеющих близкие следствия. Естественно здесь не может идти речь о тождестве процессов настоящего и прошлого, поэтому всегда необходимо учитывать необратимость исторического процесса, возможность появления качественно новых объектов.

Многие положения, открытия, гипотезы основаны в геологии на аналогии. Так, поиски алмазов в Сибири основывались на аналогии геологического строения алмазоносной провинции Южной Африки и Сибирской платформы. Почти все прогнозы на те или иные полезные ископаемые также сделаны по аналогии с уже известными структурами, стратиграфическими подразделениями, литологическими образованиями и т. п.

Космические исследования, изучение Луны, Венеры, Марса позволяют сделать важные выводы относительно структуры и истории Земли на основании аналогии. Считается, например, что на ранних этапах истории Земли ее рельеф был аналогичен современному лунному. Изучение свойств атмосферы, рельефа, особенностей вещественного состава горных пород Луны и ближайших планет дают конкретные данные не только для выяснения развития их, но и экстраполируются по аналогии для решения актуальных вопросов развития нашей планеты [151]. Давно уже известные геологические образования в результате такого сопоставления иногда интерпретируются по-новому.

В геологии особое значение имеет каузальный вид умозаключений по аналогии. Имея дело с результатами природных процессов, их следствиями и зная причину одного из нескольких сходных процессов, делают вывод о причине других. От сходства следствий заключают и о сходстве причин. Но применение этой аналогии осложняет конвергенция явлений. Она значительно снижает достоверность выводов по аналогии, зачастую не позволяя по сходству следствий судить о сходстве причин.

Как мы уже отмечали, аналогия используется при оценке перспектив той или иной области на полезные ископаемые. Но условия достоверности выводов по аналогии в геологии специально не исследовались, и потому в выводах немало субъективного, они во многом проблематичны. Не случайно оценки перспектив-

ности и прогнозных ресурсов значительно различаются у разных авторов, что отражается и на рекомендации тех или иных площадей к разведке. Сибирские ученые справедливо указывают, что использование аналогии при оценке перспектив нефтегазоносности, базирующейся на личном опыте и интуиции отдельных исследователей, в силу субъективности последних часто приводит к противоречивым, исключающим друг друга результатам. И это свидетельствует не о дискредитации самого метода аналогии, а об отсутствии формализованной процедуры проведения аналогии [81, с. 6]. Поэтому сибирские исследователи разрабатывают количественные методы оценки перспектив нефтегазоносности с применением ЭВМ.

Следует, однако, учитывать, что аналогия как элемент научного исследования ограничена в своем применении. Объективным основанием ограничения выступает сложность и бесконечное качественное многообразие действительности. Кроме того, выводы по аналогии принадлежат к вероятным, а не к достоверным. Поэтому аналогия требует определенного знания об исследуемом предмете и достаточного знания об обоих объектах, использованных в выводе по аналогии. Все выводы по аналогии всегда следует проверять и до проверки нельзя считать окончательными. Дело в том, что иногда аналогия может вести и по ложному пути. Не случайно А. И. Герцен писал: «Никто не прибегает к аналогии, если может ясно и просто высказать свою мысль. Недаром французы говорят: comparaison n'est pas raison (сравнение — не доказательство). В самом деле, строго-логически ни предмету, ни его понятию дела нет, похожи ли они на что-нибудь или нет: из того, что две вещи похожи друг на друга известными сторонами, нет еще достаточного права заключать о сходстве неизвестных сторон. В какие грубые ошибки, например, впадала геология, желая обобщать факты, выведенные изучением Альпийских гор, к другим полосам! Когда известен общий закон, то вы ищете его в частном случае не по одной аналогии с другими явлениями, но по логической необходимости» [55, с. 106].

В силу сказанного, аналогию нельзя рассматривать как единственный или главный элемент научного исследования, абсолютизировать ее значение, она долж-

на применяться в комплексе с другими его элементами. Но ценность аналогии прежде всего в том, что она служит источником новых идей, новых знаний. Последние особенно необходимы в геологии, стоящей на пороге глубоких качественных преобразований.

Метод актуализма

Анализируя применение сравнительного метода в геологии, нельзя не остановиться на идее актуализма. При этом следует иметь в виду, что само понятие «актуализм» имеет различное содержание, и под ним понимается и учение, и правило, и принцип, и подход, и, наконец, метод. В дальнейшем мы будем понимать актуализм именно в этом последнем значении.

Исторически актуализм возник в геологии, хотя он может применяться и во многих других исторических науках. Использовался актуализм как метод познания стихийно и в целом рассматривался как синтетический метод. Его гносеологические возможности, методологическая основа, условия применения специально не анализировались. В последнее время по проблемам актуализма, его возникновению и истории, соотношению с униформизмом, с историческим, с диалектическим методами вышел ряд работ [62, 71, 75, 155, 160, 161, 180]; особо отметим труды Б. П. Высоцкого [46, 47, 48, 49]. Однако до сих пор нет единства взглядов на сущность актуализма и роль в геологии. Этот метод трактуется то как сравнительно-исторический, то как исторический, то как сравнительный, а иногда даже как антиисторический. Одни исследователи считают его проявлением диалектического метода, другие — метафизического.

Оценки роли актуализма в геологии также различны у разных исследователей. Многие из них считают его основным, ведущим методом. Так, И. Ф. Зубков утверждает, что «этот метод представляет не временное и случайное явление, не вспомогательное средство, а краеугольный камень методологии геологической науки. Да и не только геологической. Все науки... такие, как биология, социология, космогония Солнечной системы, с необходимостью прибегают... к методу актуа-

лизма» [72, с. 260—261]. В актуализме видят и один из многих методов геологии, и даже расценивают его как отсталый, не имеющий познавательного значения. Словом, положение с актуализмом отражает общее состояние разработки методологических проблем геологии.

Название «актуализм» происходит от латинского слова actualis, что означает «настоящий», «современный», «существующий в действительности». Актуализм — это метод реконструкции геологических процессов прошлого на основании сравнения их с современными. Кратко его можно определить так: «Изучение настоящего — ключ к познанию прошлого». Исследователи, изучив современные геологические процессы и их результаты, пытались отыскать в явлениях прошлого черты сходства с ними. Считалось, что сходные, аналогичные результаты вызываются одними и теми же причинами. В основе актуализма как метода научного познания лежит именно аналогия и сравнение, поэтому актуализм, по нашему мнению, есть разновидность сравнительного метода.

Применение актуализма вызвано к жизни тем обстоятельством, что наблюдать и исследовать мы можем только результаты прошлых процессов, отраженные в геологической летописи — горных породах, слоях, складках, горных системах и т. д. Если мы можем проследить образование подобных геологических объектов в современной обстановке, выяснить их законы, то заключаем, что в силу преемственности и повторяемости тот же механизм вызывал образование их в прошлом. Таким образом, переход от информации о существующих в настоящее время предметах к информации о прошлых предметах осуществляется на основе научного закона.

В применении актуализма большое значение имеют те философские (методологические) положения, которых придерживается исследователь. При метафизическом признании тождества, однообразия всех — прошлых и современных — процессов на Земле, метод актуализма превращается в метод униформизма. Основоположник его Ч. Лайель считал, что «порядок в природе, с самых ранних периодов был однообразен в том смысле, в каком мы считаем его однообразным теперь, и надеем-

ся, что он останется таковым на будущее время... Если он (исследователь) твердо усвоит верование в сходство или тождество древней и настоящей системы земных изменений, то в каждом факте, указывающем на причины, повседневно действующие, увидит ключ к истолкованию какой-нибудь тайны в прошедшем» [93, с. 170, 228].

Униформизм основывается на трех главнейших принципах, или предпосылках: 1) силы, преобразовавшие земной шар, на протяжении геологических эпох отличались однообразием по своему характеру и интенсивности — принцип однообразия; 2) эти силы производили и продолжают производить в настоящее время работу медленно, но зато непрерывно, без катастроф — принцип непрерывности; 3) благодаря тому, что эта работа продолжается в течение огромного промежутка времени, малозаметные изменения суммируются и приводят к грандиозным преобразованиям на Земле — принцип суммирования мелких отклонений в течение длительного времени [141, с. 52].

Господство униформизма как принципа или учения приводило и к метафизическому применению актуализма. Следует подчеркнуть, что признание принципа однообразия является необходимой основой научного исследования, способствует выявлению устойчивых связей, закономерностей. В ходе дальнейшего познания устанавливается относительность этого однообразия (повторяемости) и выявляются элементы неповторяемости, необратимости в изучаемых процессах, их причинах, условиях протекания и результатах.

Эту ограниченность, односторонность униформизма критиковал Ф. Энгельс, отмечая: «Недостаток лайелевского взгляда — по крайней мере в его первоначальной форме — заключался в том, что он считал действующие на Земле силы постоянными,— постоянными как по качеству, так и по количеству. Для него не существует охлаждения Земли, Земля не развивается в определенном направлении, она просто изменяется случайным, бессвязным образом» [7, с. 352].

В таком понимании униформизм, абсолютизирующий момент устойчивости, постоянства, сохранения, т. е. одну сторону движения, не может служить подлинно научным методом познания, ибо он не учиты-

вает противоположный аспект движения — изменчивость, скачки, перерывы постепенности.

При диалектико-материалистическом мировоззрении, когда учитывается развитие Земли, направленность и необратимость этого процесса, актуализм вполне может применяться как один из научных методов познания природных процессов, причем не только геологических, но и живой природы [71, с. 73—78]. Важно только видеть границы применимости актуализма, не абсолютизировать его, не считать универсальным. Поэтому отрицательное отношение к актуализму как устаревшему методу, которое высказывали некоторые исследователи, вряд ли оправданно, оно основано на ошибочном отождествлении метода (актуализма) и принципа (униформизма).

В то же время в само определение метода актуализма вряд ли правильно включать те принципы, на которых основано его применение. Последние значительно изменялись за всю историю его применения, а само сравнение, лежащее в основе актуализма, сохранялось. На этом основании нельзя признать целесообразным дополнение принципом самого определения актуализма, даваемое В. П. Высоцким, который понимает под ним «научный метод геологии, применяемый для реконструкции геологического прошлого и представления о будущем путем всестороннего использования результатов изучения современных явлений с учетом необратимости эволюции в целом» [47, с. 116]. В таком случае использование сравнения исследователями XIX в. нельзя рассматривать как применение актуализма.

После широкого обсуждения проблемы актуализма в 50-е годы в связи с дискуссией о путях развития литологии был сделан правильный вывод о целесообразности разделения принципа и метода актуализма, о необходимости отказа от первого и использования второго. Применение метода актуализма должно опираться на положения материалистической диалектики как наиболее полного, всестороннего и глубокого учения о развитии. Однако Е. В. Шанцер в 1970 г. вновь возвращается к этому вопросу и заявляет: «Совершенно очевидно, что принимая метод (актуализма), мы должны принять и этот лежащий в его основе принцип — иного выбора быть не может» [168, с. 11]. Этот

вывод никакими доводами им не доказывается, а просто постулируется и для непосредственного участника отмеченной выше дискуссии выглядит довольно странным. Как известно, данные сравнения всегда интерпретируются в соответствии с общими принципами, которые претерпевали значительные изменения в истории науки.

Степень достоверности выводов, полученных с помощью актуализма, зависит от многих обстоятельств. Выводы актуализма всегда носят вероятный характер, ибо в основе этого сравнения лежит аналогия, не дающая достоверного вывода. Кроме того, сравниваются в основном внешние свойства изучаемых явлений, что недостаточно для глубокого их познания и позволяет лишь строить общие предположения о характере процессов. Достоверность выводов, основанных на применении актуализма, повышается по мере все более полного и глубокого изучения современных процессов. Оно позволяет выявить существенные черты сходства процессов прошлого и настоящего, отбросить поверхностные аналогии.

Существенной ограниченностью метода актуализма является невозможность полного учета необратимого и направленного изменения Земли — ее развития. Многие результаты процессов прошлого не имеют аналогов среди современных и это усложняет использование сравнения. Например, таким породам, как писчий мел, сидерит, железистые кварциты нет аналогов среди современных осадков. Восстановить природу образования этих пород с помощью актуализма невозможно.

Вообще, достоверность выводов актуализма повышается по мере приближения сравниваемых процессов прошлого к современным. Изучение современных ледников, ледниковых отложений позволяет восстановить многие стороны ледникового периода, а многие процессы древнейшей эры — архейской — остаются неясными. Отмечая эту ограниченность актуализма, Б. П. Высоцкий писал: «Обычное мнение, что актуализм применим тем менее, чем дальше в глубь истории мы уходим, верно лишь в том смысле, что чем ближе к нам геологическая эпоха, тем проще, легче и безошибочнее можно этим методом пользоваться. Это — ограни-

чение не столько качественное, сколько количественное» [48, с. 141].

Приведенное мнение не совсем верно, ибо по мере углубления в историю могут измениться не только условия процесса, но и его характер, т. е. основные закономерности. Уменьшение достоверности выводов актуализма с отдалением от современности исследуемых объектов происходит не плавно и непрерывно вдоль всей временной оси, но и скачкообразно. Е. П. Никитин по этому поводу верно замечает, что «с увеличением глубины ретросказания наступает такой момент, когда применявшиеся до сих пор основания ретросказания (времясодержащие или структурные законы) перестают работать. Происходит смена оснований ретросказания. Соответственно меняется тип ретросказания и возникает скачок в понижении степени вероятности его результатов» [123, с. 39].

Анализируя вероятность результата ретросказания, Е. П. Никитин выделяет три вида познавательных ситуаций. Первая возникает тогда, когда метод ретросказания применяется к объектам, законы которых доподлинно известны, поскольку они продолжают действовать и поныне. В этом случае результат ретросказания обладает высокой степенью вероятности. Вторая ситуация — применение метода ретросказания к объектам, в отношении которых не могут быть использованы знания известных законов современных объектов и на первый план выступает необходимость установления сходства между объектами прошлого и настоящего. Это модельное ретросказание, где основу ретросказания составляют не собственные законы объекта, а законы его модели, и поэтому его результаты имеют более низкую степень вероятности. Третья ситуация возникает тогда, когда ретросказание применяется к объектам, законы которых принципиально отличны от законов, выявленных наукой в отношении современных объектов или полученных другими формами ретросказания. Это гипотетическое ретросказание, имеющее самую низкую степень вероятности его результатов [123, с. 39—41].

Для выяснения значения актуализма, его сущности и гносеологических возможностей необходимо установить его сходство и различие с историческим и сравни-

тельным методами, роль которых в естествознании освещена достаточно полно. Это тем более важно, что некоторые исследователи отождествляют актуализм с этими методами или со сравнительно-историческим. Н. П. Французова и В. Н. Павлинов, например, считают разграничение актуализма и сравнительно-исторического метода «излишним, ибо любой исторический метод неизбежно предполагает необходимость сравнения» [160, с. 10]. Аргумент этот явно недостаточен, ибо цели применения исторического и сравнительного методов различны и их самостоятельность не вызывает сомнения, хотя в отдельных исследованиях они могут применяться совместно. Л. И. Ивашевский, напротив, выделяет актуализм как самостоятельный метод наряду со сравнительным и сравнительно-историческим [75, с. 63]. Поэтому актуализм у него остается недостаточно раскрытым со стороны сущности и тех задач, которые можно решить с его помощью.

Актуализм близко примыкает, по нашему мнению, к сравнительному методу. Причем сравнение в нем используется преимущественно как бы в вертикальном, временном разрезе. Гораздо реже мы можем использовать актуализм вне истории развития объекта для выяснения его структуры. Например, при изучении структуры ископаемых рифовых массивов исследователи изучают современные рифы, абстрагируясь от их истории и не учитывая ее. Сравнение как главный момент актуализма подчеркивается и в сравнительно-литологическом методе (иногда отождествляемом с актуализмом). А. И. Равикович писала: «...Под актуализмом мы понимаем метод, с помощью которого можно (хотя и до определенных пределов) реконструировать геологические и биологические силы прошлого по их роду, энергии и скорости действия, сравнивая их с современными. Поэтому метод актуализма нередко называют методом сравнения» [142, с. 41]. Интересно, что известный русский ученый К. Ф. Рулье, уделявший большое внимание вопросам методологии, также рассматривал актуализм как сравнительный метод и считал, что его необходимо дополнить историческим методом [144, с. 242].

Соотношение вышеперечисленных методов нам представляется следующим: наиболее общими метода-

ми познания являются сравнительный и исторический, а актуализм и сравнительно-исторический методы — их разновидности. Разновидности эти тесно связаны между собой и очень часто в конкретных исследованиях неотделимы друг от друга. Предлагаемое соотношение методов несколько отличается от общепринятого и тем более от исторически сложившегося, но оно адекватнее, по нашему мнению, отражает существо их взаимосвязи. Следует отметить, что само название метода «сравнительно-исторический» по отношению к исследованию геологических процессов не совсем удачно. Дело в том, что многие методы геологии — как преимущественно исторической науки — принимают историческую окраску и могут использоваться в историческом исследовании. Последнее относится и к моделированию, и к эксперименту, однако это не позволяет говорить о модельно-историческом методе.

Сравнительно-исторический метод, впервые сформулированный К. Ф. Рулье,— это часть, разновидность исторического метода, в котором сравнение всегда подчинено исследованию истории, логике исторического познания. При сравнительно-историческом методе сопоставляются разные этапы развития объекта, выявляется их сходство и различие, а также основные тенденции этого процесса и его общий ход. В этом случае применение метода направлено не столько на познание отдельных процессов прошлого, сколько на выявление истории развития изучаемых объектов.

Таким образом, главное отличие актуализма от сравнительно-исторического метода состоит в цели исследования. Сравнительно-исторический метод используется для выяснения истории развития объекта, для чего и используется сравнение, а актуализм — для исследования генезиса древних объектов, выяснения их различия и сходства путем сравнения с современными процессами. Причем актуализм возможен и вне исторического исследования — для решения вопросов о структуре объектов, объяснения ряда форм рельефа и т. д. Использование сравнения в сравнительно-историческом методе всегда подчинено задачам исторического плана, всегда учитывается фактор времени как необходимое условие развития явлений. Например, в палеонтологическом исследовании В. О. Ковалевско-

го была выяснена история развития современной лошади через ряд промежуточных форм (протогиппус, меригиппус, гипогиппус, гиппарион) от исходной — эогиппуса. В. О. Ковалевский широко применял сравнение, но оно было подчинено решению исторических задач. Он рассматривал филогению в тесной связи с приспособлением животных к окружающей среде, выясняя зависимость строения скелета и отдельных его частей (зубы, конечности) от образа жизни животного, от функции, выполняемой данным элементом скелета.

Сходных взглядов на сущность актуализма как метода сравнения придерживается Н. П. Французова. Под актуализмом она понимает использование сравнения в историческом исследовании, рассматривая его как часть последнего. Актуализм для нее — это одна «из первоначальных стадий исторического познания, когда на основе *сопоставления* (курсив наш.— *И. Н.*) результатов древних и современных процессов и внимательного исследования характера, условий протекания современных процессов, их причин делаются первоначальные предположения о характере и причинах сходных процессов в прошлом» [161, с. 210—211]. Естественно, что актуализм здесь не сопоставляется ни с историческим, ни со сравнительно-историческим методами, а рассматривается как этап исторического исследования, который может иметь к тому же самостоятельное значение. Н. П. Французова считает, что актуализм не равен историческому методу, не может заменить его и тем более «историческое познание в целом» [161, с. 235].

Иногда актуализм противопоставляется историческому методу. Так, в дискуссии перед совещанием по осадочным породам в СССР в 1951—1952 гг. Л. В. Пустовалов писал: «Актуалистический (основанный на представлении о постоянстве природы) и исторический (основанный на представлении о непрерывном диалектическом ее развитии) подходы являются настолько противоположными и непримиримыми, что взаимно полностью исключают друг друга» [140, с. 130]. Поэтому Л. В. Пустовалов предлагал полностью отказаться от применения метода актуализма, считая, что последний «возник и может существовать только на базе метафизического принципа актуализма

(униформизма), который составляет его основу» [140, с. 130].

Аналогичного взгляда на актуализм придерживается и Г. П. Леонов, заявляя, что «в геологии изучение настоящего не является и не может являться ключом к познанию прошлого... актуализм антагонистичен историзму» [95, с. 11, 15]. Правильно указывая на ошибочное отождествление некоторыми исследователями актуализма и сравнительно-исторического метода, Г. П. Леонов впадает в другую крайность, противопоставляя их, не видя их тесного взаимодействия в процессе познания геологических объектов.

Какие проблемы актуализма требуют дальнейшего исследования и насколько целесообразно употребление самого понятия «актуализм»? При решении последнего вопроса необходимо иметь в виду неоднозначность этого понятия у современных исследователей и изменение его значения в истории геологии. Поэтому всегда необходимо уточнять смысл употребления понятия «актуализм» в контексте. Главная задача исследователей этого метода состоит в расчленении его, выделении в нем различных познавательных аспектов. В тех же исследованиях, где представляется возможным четко показать роль сравнительного или исторического методов, более целесообразно, по нашему мнению (по крайней мере в настоящее время), употреблять именно последние названия.

ГИПОТЕЗА

Геология относится к тем наукам, в которых гипотезы играют огромную роль. Еще Ф. Энгельс отмечал, что если в физике и химии очень много гипотез, то «еще хуже положение дела в геологии, которая, по самой своей природе, занимается главным образом такими процессами, при которых не только не присутствовали мы, но и вообще не присутствовал ни один человек» [6, с. 89].

В связи с большим значением гипотезы в геологии представляется актуальным анализ гипотезы как метода научного исследования, выяснение ее возможностей, достоинств, специфики применения и превращения в тео-

рию, тем более что использование гипотезы в геологии происходило, как правило, стихийно. Задача такого анализа значительно облегчается тем обстоятельством, что вопросы теории гипотезы и ее применения в ряде наук в последнее время получили широкое освещение в философской литературе [19, 20, 21, 166].

Научная гипотеза и условия ее состоятельности

Под гипотезой в широком смысле понимается какое-либо предположение, догадка. Это предположение обычно ничем не ограничено и может носить произвольный характер. В более узком смысле гипотеза — это предположение о внутренней закономерной связи наблюдаемых явлений. Такая гипотеза, называемая научной, всегда имеет определенную обоснованность фактическими данными, она дает объяснение их и предсказывает новые явления. Безусловно, не всякое проблематичное утверждение или объяснение, не всякая догадка или аналогия могут быть названы научной гипотезой. Многие проблематичные суждения могут и не носить научного характера и даже тормозить развитие науки в том случае, когда они не опираются на достоверные данные и научную философию. Подобным образом тормозили развитие науки взгляды виталистов и механистов в биологии, взгляды катастрофистов в геологии и т. п. В. И. Вернадский называл такие предположения «угадками», которые только затемняют научное понимание. Имея их в виду, он отмечал: «Сейчас к явлениям жизни можно подходить с залогом успеха только эмпирически, не считаясь с гипотезами... Еще более, чем в биологии, необходимо стоять на эмпирической почве — вне механистических и виталистических представлений — в науках геологических» [39, с. 18].

В логическом отношении необходимость различных догадок и предположений заключается в том, что ни одна из форм умозаключения не может обеспечить непосредственный переход от незнания к достоверным выводам, минуя выводы проблематические. Проблематичность выводов неполной индукции, следующей из опытных данных, общепризнана. В «Философских тетрадях» В. И. Ленин по этому поводу писал: «Самая

простая истина, самым простым, индуктивным путем полученная, всегда неполна, ибо опыт всегда незакончен» [12, с. 162].

Кроме того, сущность познаваемых процессов объективного мира не является самоочевидной. Если бы их сущность совпадала со своим обнаружением, то гипотезы были бы излишними. Но в познании объектов мы начинаем изучение с внешних, непосредственно обнаруживающихся признаков и сторон их, а о внутренних же сторонах делаем, в основном по аналогии, только предположения, догадки. Последние позволяют идти дальше познания явления, представляют собой ступеньки к раскрытию сущности. Выявить сущность процесса, основные его законы — главная задача научного познания. Это сопряжено с выдвижением предположений, гипотез и их проверкой.

Исходным пунктом гипотезы является наличие комплекса вопросов и высказываний, поставленных перед наукой. Гипотеза и призвана дать ответы — хотя и вероятностные, недостоверные — на эти вопросы. В таком случае гипотеза осуществляет организацию исследования, указывает его направленность на проверку определенной идеи, способствует решению той или иной проблемы.

Выдвижение гипотезы — это глубоко творческий процесс, и помимо определенных логических операций для него необходима научная фантазия, интуиция ученого, смелость его мысли, позволяющая преодолевать традиционность, привычность взглядов и представлений. Д. Пойа, подчеркивая важность этой стороны творческого процесса, писал: «Давайте учить догадываться!... Существуют частные случаи, когда важнее учить догадываться, чем доказывать» [136, с. 423, 424].

Научная гипотеза всегда опирается на достигнутые результаты наблюдения и эксперимента. Она согласуется не только со всеми известными фактами, но и с теоретическими положениями — научными и философскими принципами, проверенными практикой.

Хотя следствия и предположения, которые дедуктивно выводятся из гипотезы, имеют, как правило, вероятностный характер, но на их основе создается определенная система знаний, позволяющая открывать новые факты и закономерности. Подлинная научная

гипотеза — это система знаний, тесно взаимосвязанных между собой и позволяющая получать новое знание. В случае своего подтверждения эта система знаний образует теорию, в случае опровержения отбрасывается. Главное отличие научной гипотезы от теории заключается именно в степени обоснованности и развитости их основных положений.

Классификация гипотез проводится по различным основаниям. Выделяют описательные и объяснительные, частные и фундаментальные, рабочие и теоретические гипотезы. Описательные гипотезы представляют собой прямое обобщение опытных данных, они устанавливают наличие и форму связи явлений. В случае подтверждения они приводят к открытию эмпирических законов. Объяснительные гипотезы — это предположения о внутренних причинах, механизме действия тех или иных явлений. Частные гипотезы характеризуют отдельные явления, узкие проблемы, фундаментальные — охватывают больший круг явлений, имеют универсальный характер, и выводы их приложимы к большинству объектов данной науки. Так, гипотеза образования колчеданных руд является частной, а гипотеза мобилизма — фундаментальной гипотезой. Рабочая гипотеза выдвигается как первоначальное предположение для систематизации научных фактов, организации и направления научного исследования. Она обычно не имеет достаточно полного обоснования и выполняет прагматическую, инструментальную роль. Достаточно полно обоснованные, развитые гипотезы, использующие идеальные объекты, некоторые исследователи называют теоретическими.

Помимо самостоятельного значения как метода научного познания гипотеза имеет огромное эвристическое значение и в других методах геологического исследования (эксперимент, исторический метод, моделирование и др.), выступая в качестве исходного пункта и результата познающего мышления. Это связано с тем, что исследование заключается в проверке выдвинутой гипотезы и зачастую приводит к созданию новых гипотез.

Гипотеза как форма научного знания возникла сравнительно недавно. Древняя натурфилософия не знала научных гипотез. В средневековье гипотезы натурфилосо-

фов, астрологов и алхимиков были весьма отвлеченными и абстрактными, мало связанными с теми успехами, которые делала экспериментальная наука того времени. Естественно, у естествоиспытателей возникало определенное недоверие и предвзятость по отношению к гипотезе. Отказ от подобных гипотез был равноценен уважению к эксперименту, эмпирическому опыту, точному математическому описанию. Широко известно крылатое выражение И. Ньютона: Hypotheses non fingo (Гипотез не измышляю).

Тем не менее наука развивалась, в ней делались новые открытия, которые требовали своего объяснения. Эмпирические данные нуждались в сведении их в определенные системы на основе тех или иных связей, хотя и вероятных. И вопреки своему заявлению, Ньютон вынужден был прибегать к использованию подлинных научных гипотез. Так возникли гипотезы корпускулярной природы света, поляризации светового луча и многие другие.

Подлинное торжество гипотезы как метода научного познания отмечается в науке XIX—XX вв. Гипотеза находит широкое применение почти во всех естественных науках — не только в механике, физике, космогонии, но и в химии, биологии, геологии. Таковы гипотезы Д. Дальтона и Д. И. Менделеева в химии, гипотеза происхождения и развития видов животных Ч. Дарвина, гипотезы Ж. Кювье и Ч. Лайеля в геологии.

Д. И. Менделеев писал, что гипотезы дают науке «стройность и простоту, каких без их допущения достичь трудно. Вся история наук это показывает. А потому можно смело сказать: лучше держаться такой гипотезы, которая может оказаться со временем неверною, чем никакой. Гипотезы облегчают и делают правильною научную работу — отыскания истины, как плуг земледельца облегчает выращивание полезных растений» [103, с. 151].

Громадную роль гипотезы сыграли в физике в конце XIX— начале XX вв. в связи с крупнейшими открытиями в этой области. Это гипотезы, объясняющие радиоактивность вещества, внутреннее строение атома, гипотеза квантов и др.

Утверждение гипотезы как метода научного исследования в это время шло одновременно с борьбой против

позитивизма, отрицавшего познавательную роль гипотез. Позитивисты признавали лишь вспомогательную роль гипотез как удобного эвристического приема, но не рассматривали их как отражение действительности. В. Оствальд, например, считал, что без «гипотез, вероятно, было бы сделано больше открытий. Открытия удались не благодаря гипотезам, а несмотря на них, ибо открытия удаются только благодаря труду, а не благодаря предположениям» [129, с. 155]. Отрицание позитивистами роли гипотезы тесно связано с идеалистическим решением основного вопроса философии, с рассмотрением ими объектов познания как совокупности чувственных данных, не отражающих материальный мир.

История наук показывает громадную роль гипотезы в развитии научного значения, в открытии новых законов. В связи с этим Ф. Энгельс писал: «Формой развития естествознания, поскольку оно мыслит, является гипотеза. Наблюдение открывает какой-нибудь новый факт, делающий невозможным прежний способ объяснения фактов, относящихся к той же самой группе. С этого момента возникает потребность в новых способах объяснения, опирающаяся сперва только на ограниченное количество фактов и наблюдений. Дальнейший опытный материал приводит к очищению этих гипотез, устраняет одни из них, исправляет другие, пока, наконец, не будет установлен в чистом виде закон. Если бы мы захотели ждать, пока материал будет готов в чистом виде для закона, то это значило бы приостановить до тех пор мыслящее исследование, и уже по одному этому мы никогда не получили бы закона» [7, с. 555].

Для того, чтобы то или иное предположение составляло научную гипотезу, оно должно удовлетворять ряду логических требований, называемых условиями состоятельности гипотезы [20]. Эти требования не являются жесткими формальными канонами, позволяющими решать вопрос о судьбе той или иной гипотезы без глубокого конкретного анализа ее содержания, но они существенно ограничивают круг гипотез, имеющих научный характер.

Первое условие состоятельности гипотезы заключается в соответствии, согласии ее с фактическим материа-

лом, в опоре ее на данные наблюдения и эксперимента, для объяснения которых она выдвинута. Причем гипотеза, будучи системой знаний, должна соответствовать не только этим данным и фактам, но и известным в науке теориям и законам, в том числе и законам материалистической диалектики.

Второе условие состоятельности научной гипотезы — ее принципиальная проверяемость. Поскольку любая гипотеза соотносится с непосредственно не наблюдаемым внутренним механизмом, проверить ее можно путем вывода следствий, доступных опытной проверке. Если же совокупность следствий научной гипотезы оказывается непроверяемой, то такая гипотеза не имеет права на существование. При этом следует различать фактическую и принципиальную непроверяемость. Первая обусловлена недостаточными техническими возможностями эксперимента и со временем может быть устранена. Принципиальная непроверяемость означает, что следствия гипотезы недоступны опытной проверке в силу специфики внутреннего механизма гипотезы. Такие гипотезы как бы предполагают наличие таинственной «вещи в себе», не обнаруживаемой опытом, что не совместимо с научной философией. Требование принципиальной проверяемости направлено против произвольных конструкций, беспочвенных антинаучных спекуляций, натурфилософских построений.

Третье условие состоятельности научной гипотезы — ее общность, приложимость к возможно более широкому кругу явлений. Научные гипотезы, выдвинутые для объяснения одной группы явлений, объясняют и ряд смежных явлений, т. е. оказываются плодотворными. Это связано с особенностями объективного мира, в котором все явления всегда тесно связаны друг с другом и представляют собой элементы более общих классов явлений.

Четвертое условие состоятельности научной гипотезы — ее принципиальная логическая простота. Это — требование, известное еще в средние века как «бритва Оккама», — не умножать число принципов и сущностей сверх того, что необходимо для объяснения явления. Гипотеза считается простой, если на основе немногих допущений объясняет широкий круг явлений (критерий «внутреннего совершенства» теорий А. Эйнштейна).

Несмотря на спекуляции позитивистов, утверждавших, что истинно то, что просто, критерий простоты в общем оказывается прогрессивным; для материализма теория потому проста, что она истинна. Простота научных концепций объясняется объективным единством разнообразных явлений действительности, выражающемся в подчинении их ряду общих законов. Открытие таких общих законов и составляет важнейшую задачу науки. Из двух теорий или гипотез, объясняющих данный круг явлений, истинная всегда будет проще ложной, ибо последняя использует, как правило, ряд искусственных допущений. При прочих равных условиях более приемлема та гипотеза, которая лучше других укладывается в интеллектуальную ситуацию современной эпохи, больше соответствует общепринятой «реальности», господствующему стилю мышления.

Диалектический материализм отвергает и метафизическое понимание простоты как абсолютно простой последней сущности. Опираясь на данные естествознания, он утверждает неисчерпаемость и сложность мира.

Требование преемственной связи гипотезы с предшествующим знанием, выдвигаемое Л. Б. Баженовым [21, с. 310], нам кажется излишним, ибо это требование входит в первое условие состоятельности гипотезы. Кроме того, могут быть выдвинуты и гипотезы, кардинально меняющие наши представления, по-новому объясняющие фактические данные науки.

Нам представляется, что условия состоятельности гипотезы должны быть дополнены еще одним требованием — гипотеза должна быть сформулирована на формальном научном языке [116, с. 44]. Это условие является весьма сильным. Оно не всегда может быть выполнено, но использование строгого языка всегда желательно и предпочтительно, ибо повышает логическую строгость гипотезы, делает возможными более четкое изложение основных ее положений и получение выводов в количественной форме, проверяемых существующими средствами. Только формальный язык позволяет давать четкий критерий осмысленности тех или иных суждений, т. е. проверяемости противоположных гипотез об одном и том же объекте. Четкое и ясное изложение постулатов гипотезы дает возможность для их анализа, критики, а также выбора альтернатив.

В этом случае выдвижение гипотезы будет производиться не на основе образных моделей с помощью расплывчатых понятий и умозрительных представлений, предсказательная сила которых невелика, а на базе знаковых моделей и формальных понятий. Выполнение этого условия состоятельности показывает, что научная гипотеза имеет теоретическую зрелость. Проверка ее становится более реальной, в отдельных случаях даже возможной в настоящее время, ибо она дает качественно определенные следствия и четкие условия своего подтверждения или опровержения. На это указывает и Л. Б. Баженов, отмечая, что «на современном уровне развития естествознания гипотеза приобретает права гражданства лишь в том случае, если ее основные положения получают математическую формулировку, открывая тем самым возможность выведения следствий, допускающих количественное сопоставление с экспериментом» [22, с. 90].

И. П. Шарапов к известным требованиям к гипотезе предлагает добавить еще два: она должна быть внутренне непротиворечивой и естественной [170, с. 61]. Он не раскрывает их смысл, но первое требование — о невозможности противоречивых выводов из единых оснований — имеет немаловажное значение. Действительно, в геологии противоречащие друг другу гипотезы зачастую опираются на одни и те же эмпирические данные. Так, гипотеза мобилизма говорит о движении континентов, их взаимном удалении друг от друга, гипотеза фиксизма утверждает противоположное — материки не испытывают значительных горизонтальных перемещений. Определение противоречивости гипотезы, соответствия ее выводов посылкам возможно только с использованием строгих логических правил, применением, как мы уже указывали, формального языка.

Второе требование — об естественном характере гипотезы — вряд ли может быть принято. Известно, что естественным обычно считается привычное, традиционное, наглядное, связанное с существующим стилем мышления, господствующей «реальностью» и т. д. Учитывая сложный характер современного этапа развития геологии, необходимость новых идей и гипотез, вряд ли можно «неестественность» гипотезы считать достаточным аргументом признания ее ненаучности.

Ясно, что на условия состоятельности гипотезы, а также на ее характер и продолжительность «жизни» оказывает влияние специфика науки. Так, в частных, конкретных науках роль фундаментальных гипотез меньше, чем в более общих, ведущих отраслях знания; на описательной, эмпирической стадии развития науки гипотезы преобладают над точным, достоверным знанием; в науках, в которых большую роль играют экспериментальные методы и уровень исследования достаточно высок, «жизнь» гипотез короче, ибо практическая проверка или опровергает их, или способствует превращению в теорию.

Специфика гипотезы в геологии

Роль гипотезы и условия ее состоятельности в геологии весьма специфичны. Это связано с большим значением для нее исторических положений, ограниченным применением математики и эксперимента, использованием образного языка. Немаловажно и то, что геология находится на эмпирическом уровне развития, в ней мало точного и достоверного знания. И. П. Шарапов, проанализировав содержание 14 «теорий» геологии, приведенных в «Геологическом словаре», пришел к выводу, что только одно научное построение отвечает определению теории — теория литогенеза Н. М. Страхова, остальные являются гипотезами или описаниями [169, с. 34].

Геологические гипотезы можно разделить на гипотезы о свойствах или связях объектов, о причинах их действия, об их истории и развитии. Назовем их статическими, причинными и историческими [срав. 84]. Эта классификация позволяет разделить геологические гипотезы по учету фактора времени и по возможной проверяемости. Так, первые гипотезы не учитывают фактор времени и проверяются прямым наблюдением или экспериментом в настоящее время или могут быть проверены в будущем. Причинные гипотезы частично проверяемы в настоящее время, большей же частью они имеют фактическую непроверяемость, обусловленную недостаточными техническими возможностями. Исторические гипотезы непроверяемы полностью, хотя сте-

пень их достоверности неодинакова и может быть весьма высокой. Исторические гипотезы должны основываться на данных о связях объектов и их причинах, выводиться из них.

В геологии преобладают так называемые генетические гипотезы, которые призваны объяснить происхождение и развитие различных природных объектов. И. В. Круть, рассматривая вопросы создания теоретической геологии, справедливо отмечал, что «генетические гипотезы пронизывают геологию на всех уровнях — от проблемы происхождения и строения Земли, геосфер, континентов и океанов, горных пород, руд и т. д. до вопросов о взаимоотношении ископаемых организмов со средой» [90, с. 91].

Понятие генезиса в геологии четко не определено. Обычно под ним понимается описание процесса, приводящего к возникновению и развитию объекта, а также условий этого процесса. Преобладает простое генетическое объяснение, когда определенное состояние объекта объясняется путем апелляции к некоторому предшествующему состоянию, реже — причинное генетическое объяснение, когда вскрывается внутренний механизм генезиса, его причина [124, с. 84—87]. И даже если генетическая гипотеза говорит, например, о гидротермальном генезисе тех или иных руд (и ее следовало бы относить к причинным), то вопросы об источнике рудного вещества, формах его переноса и причинах выпадения из растворов обычно не анализируются. Поэтому большинство генетических гипотез следует относить к историческим и, кроме того, описательным. Объяснительные же гипотезы, раскрывающие механизмы действия геологических процессов, распространены меньше. Прикладная геология, в частности, использует вообще только описательные гипотезы.

Слабое развитие объяснительных гипотез связано с тем, что причину многих геологических процессов, происходящих в земной коре и на ее поверхности (магматизм, тектогенез и др.), геология находит в действии глубинных подкоровых процессов, недоступных прямому исследованию. Эксперимент, в связи с громадными масштабами этих процессов во времени и в пространстве, затруднен, а моделирование недостаточно эффективно вследствие слабой разработки вопросов прибли-

женного подобия и невозможности учесть влияние длительности процессов.

Большую роль играет и такая особенность геологических процессов, как конвергентность. Сторонники противоположных гипотез об одном и том же объекте истолковывают в свою пользу одни и те же факторы, которые допускают различные объяснения. Преодоление конвергентной неопределенности, затрудняющей познание геологических объектов, заключается в логическом совершенствовании исследования, в расширении определяемых признаков и свойств объектов, более полном и точном изучении объектов.

Очень важно четкое отделение фактического материала от его осмысления исследователем, от субъективной, зачастую односторонней оценки тех или иных факторов, что широко еще распространено в современном геологическом исследовании.

Попытка сформулировать требования к гипотезам в геологии (тектонике) была предпринята В. В. Белоусовым [25, с. 533]. По его мнению, научные гипотезы должны удовлетворять следующим требованиям: 1) опираться на факты; 2) учитывать возможно большее число известных фактов и связей между явлениями; 3) давать объяснения тектоническим процессам,соответствующие уровню современной науки; 4) давать направление для дальнейшей работы и предоставлять возможность ее проверки. Если гипотеза ничего нового не предсказывает и замыкается в тех данных, которые уже были известны до ее создания, то она для дальнейшего развития науки бесплодна.

Эти требования к тектоническим гипотезам почти полностью совпадают с общими условиями состоятельности гипотезы, подчеркнута лишь необходимость учета новейших достижений науки.

Рассмотрим общие требования к гипотезам более подробно. Опора на факты, согласованность с данными наблюдения и эксперимента являются основой гипотезы. Тем не менее, исходя из одних и тех же фактов, разные исследователи создают и развивают различные, а зачастую и противоположные гипотезы. Дело в том, что гипотезы по объему шире имеющихся фактов. Так, в геотектонике — одной из основных наук геологического цикла — для объяснения причин геотекто-

генеза и возникновения горных систем выдвинуто более десятка гипотез: контракции, изостазии, пульсационная, радиоактивных циклов, горизонтального перемещения материков, магматических течений, гравитационного складкообразования, волновая, астенолитная, радиомиграционная и др. Все эти гипотезы так или иначе опираются на известные факты. Причина такого разнообразия гипотез в относительной сложности того природного процесса, для объяснения которого они создаются, и в слабой его изученности. Большинство геологических процессов многообразно, в них переплетается действие физических, химических и биологических факторов. Одни гипотезы хорошо согласуются с конкретными, частными явлениями, с отдельными сторонами процесса, а другие его стороны рассматривают или как выводные из первых, или как нейтральные по отношению к ним.

Мы не можем согласиться поэтому с мнением А. Е. Медунина, который предполагает, что «обилие разнообразных геологических и космогонических гипотез объясняется, по-видимому, как это ни парадоксально, весьма высоким уровнем развития нашей науки [102, с. 337—338]. Однако парадокса тут нет, и развитие науки как раз уменьшает число гипотез, а гипотеза, превращаясь в теорию, служит формой концентрации, уплотнения знания. В. И. Драгунов и И. В. Круть верно объясняют обилие гипотез в геологии — «гипотезоманию», как они говорят, неполнотой эмпирического обоснования их и недостаточной логической строгостью выводов из них [66, с. 107].

Для того чтобы ограничить «бесчисленное количество» генетических гипотез, Ю. А. Воронин и Э. А. Еганов предлагают несколько правил представления гипотез, касающихся их формы [43, с. 14, 22].

Во-первых, генетические гипотезы должны быть четки, но не категоричны. Категоричность некоторых генетических гипотез, претендующих на статус «теорий», всегда может привести к крайне нежелательным последствиям, ибо генетические рассуждения относятся к числу правдоподобных. Необходимы формальная четкость и логическое совершенство гипотез.

Во-вторых, необходимо оговорить, какие две генетические гипотезы считаются различными. Далеко не

все генетические гипотезы отличаются по своей сущности, хотя форма, в которой они излагаются, может быть довольно разнообразной, нередко при этом происходит неявная подмена основного тезиса. В качестве примера Ю. А. Воронин и Э. А. Еганов приводят гипотезы о хемогенно-осадочпом и вулканогенно-осадочном происхождении фосфоритовых залежей. Несмотря на их противопоставление, граница между ними условна, ибо первая обосновывает принципиальную возможность осаждения фосфата химическим способом, вторая же заостряет внимание не на способе осаждения, а на том «первоначальном» источнике фосфата, который вводил его в морские воды. Поэтому эти авторы предлагают различать гипотезы не по содержанию (мы бы сказали — не по названию), а по тем связям, которые являются следствиями из этих гипотез и могут быть экспериментально проверены.

Как известно, научная гипотеза должна опираться не только на факты и эмпирические обобщения, но и на установленные законы и теории. Поскольку таковых в геологии мало (по меткому выражению Дж. Бернала, науки о Земле являются скорее графиями, чем логиями), то в них большую роль играют использование законов ведущих отраслей естествознания: физики, химии, математики, тем более, что сущность геологических процессов по своему генезису физическая или химическая. В этой связи требование В. В. Белоусова о соответствии гипотезы уровню современной науки приобретает немаловажное значение. Все крупные открытия в физике и химии находили применение и в геологии — либо в виде совершенствования анализа природных объектов (радиоактивационные, изотопные и другие методы), либо в виде использования моделирования и эксперимента для раскрытия основного содержания геологических процессов, либо через образование новых, пограничных наук (геофизики, геохимии, тектонофизики и др.).

Ярким примером этого использования является открытие радиоактивности и возможности ее применения для определения абсолютного возраста геологических образований.

В. Н. Жарков и В. А. Магницкий справедливо отмечают, что «сейчас уже прошли те времена, когда

можно было творить гипотезы исходя только из геологических данных, не очень заботясь о правдоподобности ее физических основ... В настоящее время уже нельзя всерьез принимать гипотезу, противоречащую основным законам физики и химии, какими бы при этом ни казались удачными ее геологические приложения» [68, с. 22].

Немалое значение для состоятельности геологических гипотез имеет и опора на законы научной философии — диалектического материализма. В частности, гипотезы должны учитывать диалектический характер процессов — их противоречивость, взаимосвязь качественных и количественных изменений, цикличность и поступательность и т. д.

Условие согласия гипотезы с существующими положениями и фактическим материалом нельзя догматизировать. Помимо того, что опытные данные допускают несколько объяснений, всегда необходимы гипотезы, пересматривающие некоторые старые положения. Эти гипотезы могут уточнять, дополнять их и привести к переоценке того, что казалось прежде достоверным. Из истории науки известно, что без этого невозможно ее дальнейшее развитие. Факты к тому же всегда связаны с определенной теорией, интерпретацией, и «чистых» фактов науки нет. В геологии, находящейся на пороге открытия кардинальных законов, особенно актуальна проблема новых, «сумасшедших» для традиционного мышления, гипотез. В настоящее время в науке все больше укрепляется мнение, что «невероятность», «абсурдность», «ненаглядность» — естественные черты всякой действительно новой идеи. Выдающийся естествоиспытатель М. Планк писал по этому поводу: «Как ни справедливо во многих случаях требование наглядности, однако оно может оказаться вредным препятствием, в особенности, когда направлено против проникновения в науку новых великих идей... Если гипотеза оказалась плодотворной, то к ней привыкают, а затем она мало-помалу приобретает известную наглядность» [134, с. 65, 66].

Если гипотезы в геологии XVIII—XIX вв. носили во многом качественный характер, часто были умозрительными, то внедрение точных наук делает их количественными и, что особенно важно, принципиально

проверяемыми. Известно, что подлинная научная гипотеза всегда указывает и пути своего опровержения. Французский ученый Ж. Гогель считал, что «залогом прогресса геологии будет такое положение, при котором гипотезы, даже наиболее популярные, постоянно подвергаются критическому рассмотрению и их выводы ставятся под сомнение. Гораздо хуже дать какому-либо явлению ложное объяснение, не позволяющее искать других объяснений и заводящее нас в тупик, чем отвергнуть это объяснение и признать свое незнание. Надо уметь сознавать свое незнание» [59, с. 386].

Вопрос о проверяемости гипотез тесно связан с возможностями наблюдения, эксперимента и моделирования, ибо непроверяемость здесь, как правило, не принципиальная, а фактическая. В связи с успехами в области физики, химии, математики возрастает возможность эксперимента в исследовании внутренней основы геологических процессов. Возможность изучения поведения земного вещества при давлении в 200 тыс. атм. и кратковременных нагрузках в 1 млн. атм., соответствующих подкоровым глубинам, позволяет создавать более адекватные модели внутреннего строения и состава Земли. Изучение скорости распространения упругих волн в Земле при землетрясениях и искусственных взрывах позволило обосновать гипотезу о сферическом строении нашей планеты. Если раньше недра Земли считались расплавленными, то данные физики Земли позволяют считать ее твердой, по крайней мере до границы мантии и ядра, т. е. до глубины 2900 км.

Велика роль в геологии и теории подобия, изоморфизма и гомоморфизма, которые позволяют переносить данные лабораторных исследований на реальные геологические объекты. Эти и подобные им эксперименты в корне меняют многие теоретические положения геологии. Поэтому несомненно, что будущее геологии, степень познания сущности природных процессов зависит в огромной степени от внедрения в нее идей и методов точных наук.

Третье условие состоятельности гипотезы — ее максимальная общность — проявляется специфично в различных науках. Общие, фундаментальные науки располагают гипотезами более широкими по охвату явлений, чем прикладные науки. Гипотезы в физике или

общей биологии объясняют больший круг явлений, чем гипотезы метеорологии или вирусологии.

Даже для объяснения одного и того же процесса могут быть выдвинуты гипотезы разной степени общности. Более широкая гипотеза дает описание всего изучаемого процесса, в ней имеет место множество предположений, а более узкая гипотеза детально характеризует отдельный аспект этого процесса. Она основывается на немногих предположениях и дает более конкретные выводы-следствия.

Плодотворность гипотезы всегда так или иначе проявляется в ее выводах. Поэтому выводы гипотезы, предложенной для объяснения какого-либо конкретного геологического процесса, всегда применимы и к изучению аналогичных, близких к нему явлений.

Так, устанавливаемые гипотезой условия генезиса железистых кварцитов, распространяются и на другие процессы осадконакопления в эту эпоху. Поэтому требование плодотворности гипотезы как условие ее состоятельности приложимо и к геологическим гипотезам.

Требование логической простоты к геологическим гипотезам применимо в ограниченной степени в связи с эмпирическим уровнем ее развития. Безусловно, внутренняя непротиворечивость и логическая последовательность выводов и следствий необходимы и здесь, но требование логической простоты приложимо в основном к гипотезам теоретически развитых наук, в значительной степени формализованных. В формализованных системах понятие простоты определяется достаточно четко, что позволяет использовать этот критерий при выборе конкурирующих гипотез.

Вообще любое положение гипотезы должно подвергаться логическому анализу с точки зрения его вероятности. Вопросами изучения форм и способов получения вероятного знания, обоснования вероятности того или иного положения занимается такой раздел формальной логики, как вероятностная логика. Этот логический анализ обоснованности существующих гипотез применяется не только в формализованных, но и в эмпирических науках. Он позволяет определить степень подтверждения не каждой гипотезы в отдельности — относительно имеющихся оснований, а лишь в сравнении с другой — относительно имеющегося знания. Так,

С. П. Будбаевой и Б. Н. Пятницыным был проведен логический анализ степени обоснованности двух гипотез происхождения нефти — биогенной и абиогенной, которые рассматриваются их сторонниками как конкурирующие и исключающие друг друга [33].

Биогенная (органическая) гипотеза была высказана М. В. Ломоносовым. Суть ее состоит в том, что нефть образуется из органического вещества, содержащегося в осадках морей, озер и прибрежной полосы океана. Считается, что аккумуляция сильно рассеянной нефти (микронефти) происходит спустя сотни, тысячи и миллионы лет после образования ее в илах. На глубине 2—3 км, где достаточно высоки температура и давление, газы и микронефть растворяются друг в друге и скапливаются в пористых породах (коллекторах).

Абиогенная гипотеза происхождения нефти была выдвинута Д. И. Менделеевым в 1876 г. Он полагал, что вода, взаимодействуя с карбидами железа, дает различные смеси углеводородов. В современном варианте гипотезы считается, что из углерода и водорода, имеющихся в мантии Земли, образуются углеводородные радикалы, которые выделяются из мантии в зоны глубинных разломов и служат материалом для образования нефти в более холодных зонах земной коры.

Практические рекомендации поисков нефти по биогенной гипотезе — поиск нефтематеринских свит, а затем коллекторов и благоприятных тектонических структур; по абиогенной — поиск глубинных разломов, а затем исследование структуры: на наличие коллекторов и покрышки.

Сравнительный логический анализ этих гипотез показал определенную подтверждаемость биогенной гипотезы геологическими доводами. Причем многие доводы сторонников неорганической гипотезы не опровергают следствия биогенной гипотезы, не доказывают их ложность. Возможно, что эти две гипотезы следует дополнить третьей, смешанной гипотезой генезиса нефти. Так или иначе, ложность следствий из обеих гипотез логическими доводами при современном состоянии науки доказать невозможно. Обе они являются научными гипотезами, и считать абиогенную гипотезу вздорной — типа «изобретения вечного двигателя», а биогенную — «абсолютной истиной» [36, с. 69] вряд ли корректно

и не столько потому, что это не соответствует действительности, сколько потому, что это действительно сложная проблема.

Поскольку геологические процессы являются сложными и многофакторными, простое объяснение их затруднительно. Когда же будет раскрыта их сущность и процесс развития земной коры будет выяснен более или менее достоверно, тогда появится возможность сравнения по степени простоты гипотез о механизме этого развития.

Простота многих геологических гипотез, исключительно качественное объяснение ряда природных процессов очень часто при более детальном исследовании оказывались недостаточными или неверными. Так, однозначное предположение о магматическом образовании гранита является довольно простым, но оно опровергнуто в ходе развития науки, доказавшей возможность и метаморфического генезиса этих горных пород. Простота, понятая как легкость понимания и удобства, несет в себе значительный субъективный момент, она не может служить методологическим принципом.

Если гипотеза неспособна предвидеть заранее новые открытия и факты, то она, очевидно, несостоятельна. И, наоборот, если новые открытия были предсказаны гипотезой, предвосхищены ею, то она более достоверна. Подтверждение следствия, которое ожидалось при любых условиях, имеет небольшую ценность для подтверждения гипотезы, и чем меньше вероятность нового следствия, тем большее значение будет иметь его последующее подтверждение для повышения степени достоверности гипотезы. Например, находка остатков пресноводных амфибий в Антарктиде, аналогичных найденным в Южной Африке, значительно повысила достоверность гипотезы мобилизма.

Интересную попытку дать количественную оценку достоверности тектоническим положениям (гипотезам) сделал М. В. Гзовский, используя оценку истинности понятия, разработанную в математической логике [57, с. 229]. Он выделяет следующие пять классов истинности понятий (положений, гипотез):

$Г_5 = +2$ — общепризнанное понятие; установлено достоверно, признается всеми исследователями, за исключением очень немногих.

$Г_5 = +1$ — обоснованное предположение; имеет серьезное фактическое основание, но многими исследователями не признается.

$Г_5 = 0$ — интуитивная догадка; фактами не обоснована, либо остается невыясненной, либо вытекает из общих представлений данного исследователя.

$Г_5 = -1$ — неоправдывающееся разумное предположение; в принципе могло бы быть, но в действительности неверно, так как опровергается фактами.

$Г_5 = -2$ — абсурд; в принципе неверно и опровергается фактами.

М. В. Гзовский отмечает, что использование оценки значений истинности может принести пользу в сейсмологии, при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых и пр.

По мере развития науки любая гипотеза может быть уточнена и дополнена, но основа ее при этом изменяется незначительно и гипотеза не лишается принципиальной простоты. Рассматривая эту проблему, необходимо отметить, что требование простоты относится к основе гипотезы, главным ее посылкам и положениям, а не к математической ее форме, понятности, доступности и т. д. Гипотеза может иметь довольно сложный математический аппарат, но быть простой в своих основах и принципах. Общая теория относительности Эйнштейна с точки зрения ее понимания, математических расчетов сложнее, чем теория тяготения Ньютона, но она принципиально проще последней, ибо, исходя из немногих оснований (эквивалентности полей гравитации и ускорения), она объясняет широкий круг явлений. В геологии, например, теория минералообразования при метасоматозе Д. С. Коржинского сложна математически, но принципиально проста, ибо исходит из основного представления о минералообразовании как равновесном процессе с неодинаковой подвижностью компонентов в разных метасоматических зонах (принцип дифференциальной подвижности компонентов).

Таким образом, для геологического знания характерно обилие гипотез, особенно генетических. Геологические гипотезы обычно недостаточно разработаны и имеют большую продолжительность «жизни».

С точки зрения условий состоятельности можно рассмотреть одну из тектонических гипотез — гипотезу мобилизма. Главное содержание этой гипотезы, выдвинутой еще в 1912 г. немецким ученым А. Вегенером, состоит в том, что ведущая роль в основных тектонических процессах отводится горизонтальным движениям блоков земной коры. А. Вегенер полагал, что гранитные блоки земной коры плавают по базальтовому субстрату. В палеозойскую эру эти блоки составляли один материк — Пангеа, а в мезозойскую эру этот материк раскололся на части — современные континенты, которые отошли друг от друга, что привело к образованию Атлантического и Индийского океанов.

Эта гипотеза опирается на следующие факты: во-первых, данные геофизики свидетельствуют о разнородности континентов и океанов; во-вторых, наблюдается параллельность очертания берегов Южной Америки, Африки, Индии; в-третьих, доказана общность геологического строения этих континентов, разделенных океанами; в-четвертых, палеонтологи указывают на близость позднепалеозойской и раннемезозойской фауны и флоры.

Как мы уже указали, проверяемость гипотез в геологию тесно связана с внедрением в нее методов точных и с учетом достижений пограничных наук. Действительно, данные геофизики (особенно сейсмологии) подтвердили различное строение океанов и континентов. Доказано существование в верхней мантии Земли слоя резко пониженной вязкости, который как бы противостоит относительно жесткой и хрупкой литосфере, охватывающей земную кору и верхнюю часть мантии,— волновода или астеносферы. Вдоль этого слоя возможно горизонтальное смещение глыб литосферы относительно более глубоких оболочек Земли.

Данные палеомагнитного метода, основанного на изучении остаточной намагниченности ферромагнитных минералов, которая сохраняется в течение миллионов и миллиардов лет и соответствует направлению силовых линий древнего магнитного поля Земли, свидетельствует об изменении относительного положения континентов в различные эпохи истории Земли. Данные космонавтики позволили выявить новые закономерности в расположении сетки глубинных разломов, охватывающих кон-

тиненты и океаны. Наконец, геологические исследования Антарктиды подтвердили общность ее истории с другими континентами Южного полушария (следы позднепалеозойского оледенения, папоротникообразная флора, пресноводные амфибии и рептилии и т. д.). Данные бурения дна Атлантического океана свидетельствуют о молодом возрасте залегающих на нем осадков.

В отношении общности можно сказать, что эта гипотеза является одной из фундаментальных и призвана объяснять многие геологические явления. Она удовлетворительно объясняет существование глубинных разломов, связывая их с действием ротационных сил Земли. Гипотеза мобилизма позволяет упорядочить многие тектонические данные, представить их в виде единой системы. Относительно научной плодотворности достаточно отметить, что она позволила наметить общую историю этих континентов (последовательность осадконакопления, особенности растительного и животного мира, позднепалеозойское оледенение и др.), которая в главном подтвердилась исследованиями. С точки зрения принципиальной простоты гипотеза довольно несложна, особенно если учесть открытие в верхней мантии волновода. Но механизм действия, приводящий в движение более жесткие глыбы литосферы, пока достоверно неизвестен.

Для повышения логической строгости гипотезы необходимо более четкое изложение ее основ: что́ понимается под движением материков, как это движение определить и проверить, какое время имеется в виду — физическое или геологическое? Ибо если материки движутся, но это движение ничтожно в геологическое время, или они просто колеблются около некоторого постоянного положения, или движение материков не может быть проверено имеющимися средствами, то говорить о нем вряд ли корректно. Кроме того, гипотеза должна давать четкие условия своего опровержения. Если это условие выполнено, возможна постановка «решающих экспериментов» для проверки следствий двух противоположных гипотез — мобилизма и фиксизма.

В целом гипотеза мобилизма удовлетворяет основным требованиям научной гипотезы [114], и поэтому отнесение ее В. В. Белоусовым «к разряду фантастических, имеющих мало общего с наукой» и якобы основан-

ных «на полном и последовательном игнорировании основных данных геотектоники и геофизики» [25, с. 538, 543], несостоятельно.

И. Ф. Зубков трактует гипотезу мобилизма как созданную только «для объяснения небольшой группы явлений в рифтовых зонах», т. е. как гипотезу ad hoc, для данного случая. Он полагает, что для распространения принципов этой гипотезы на все строение земной коры нет ни фактической, ни логической, ни методологической основы [73, с. 43], с чем вряд ли можно согласиться, хотя окончательный приговор, естественно, остается за геологической практикой.

Гипотеза и теория

Остановимся на логическом строении гипотезы и путях ее превращения в теорию. Гипотеза представляет особую форму мышления, состоящую из системы понятий, суждений и умозаключений. Основу ее составляют достоверные суждения, основанные на фактическом материале и установленных закономерностях. Кроме того, она включает в себя и проблематические суждения, истинность которых не доказана. Они отнюдь не произвольны и обычно основаны на аналогии с известными уже положениями. Предположительность этих суждений является отражением определенного уровня знаний о процессах, когда последние изучены достаточно для того, чтобы судить об их связях или причинах, но недостаточно, чтобы достоверно объяснить их. Например, предположительное суждение о существовании в верхней мантии Земли особого размягченного слоя — астеносферы, где происходит активная дифференциация вещества мантии, опирается на данные геологии, геофизики, а также эксперименты по изучению поведения вещества при высокой температуре и давлении 50—150 кбар. Однако петрографический состав этого слоя и механизм дифференциации вещества достоверно неизвестны, поэтому нет оснований для категорических, однозначных выводов из этой гипотезы.

Проблематические суждения составляют основную идею гипотезы, ее принцип, объединяющий в систему

все остальные понятия, суждения и умозаключения. Этот принцип в ходе развития может дополняться, уточняться, но в целом сохраняется и в случае подтверждения гипотезы составляет основу теории, вырастающей из гипотезы. При опровержении гипотезы система разрушается в главном, хотя отдельные ее понятия и суждения могут быть использованы новыми гипотезами.

В общем случае гипотезу можно рассматривать как особого рода сложное умозаключение. На основании изучения свойств, разных сторон явлений мы формулируем суждение, которое является первой установочной, гипотетической посылкой об объекте исследования. Выдвижение гипотезы невозможно без накопления эмпирического материала, без некоторого логического его обобщения. Особенно большое значение для выдвижения гипотезы имеют факты, которые не укладываются в рамки существующих теорий, не могут быть объяснены ими. «Поэтому для настоящего теоретика,— отмечал М. Планк,— ничто не может быть интереснее, чем такой факт, который находится в прямом противоречии с общепризнанной теорией: ведь здесь, собственно, начинается его работа» [134, с. 73].

Второй посылкой гипотезы являются более или менее достоверные суждения, относящиеся к данному классу объектов. Исходя из обеих посылок, мы получаем новое знание об объекте исследования. Гипотетичность вывода зависит от гипотетичности оснований и характера связи между основанием и выводом. Так, изучая геологическую историю региона, исследователи отмечают наличие в нем карбонатных осадков определенного возраста. Это — одна посылка. Образование карбонатных пород происходит, как правило, на дне моря — другая посылка. Вывод — в интересующую исследователя эпоху данный регион был занят морским бассейном. Здесь мы получаем только вероятное знание об истории (характере, климате, животном мире и т. д.) изучаемого района, ибо само изучаемое явление весьма сложно и связь между основанием и выводом носит индуктивный характер.

Повышение достоверности вывода может быть произведено двумя путями: во-первых, возможно более полное и глубокое изучение явлений, всесторонний

анализ их с помощью различных, особенно новейших, методов исследования, получение численных характеристик явлений; во-вторых, уточнение и конкретизация оценочного суждения, установление типоморфных признаков и границ изучаемых явлений, условий их действия, использование статистических методов для четкого количественного разделения сходных явлений и т. д. В геологии это часто связано с изучением современных процессов, аналогичных древним по своим результатам. Необходимо всемерное использование открытий в смежных областях — физике, физической химии, математике, кибернетике, химии и других науках. В том и другом случае повышение достоверности многих геологических гипотез тесно связано с внедрением идей и методов точных наук. Важно также более полно использовать логику при изучении геологических объектов.

Превращение гипотезы в теорию обусловлено внутренней основой явления, объясняемого гипотезой. Продолжительность «жизни» гипотезы зависит от уровня исследования, развития экспериментальных методов, специфики объекта изучения. В частности, в геологии в связи с большой ролью в ней генетических гипотез, недоступностью объектов для прямого исследования, слабым развитием эксперимента, отставанием теоретических разделов многие положения, высказанные в XVIII—XIXвв. все еще остаются на стадии гипотез.

В логике исследованы многие пути, формы превращения гипотезы в теорию. Первая форма — это непосредственная доступность наблюдению той причины, которая была ранее скрыта вследствие недостаточного уровня развития науки. Так превращаются в достоверное знание многие статические частные гипотезы в геологии, проверяемые в ходе геологических работ — бурения, опробования, проходки горных выработок и т. д. Но к фундаментальным гипотезам геологии эта форма доказательства истинности или ложности их применима пока в ограниченной степени. Следует отметить, что в ближайшем будущем эта форма проверки гипотез будет более распространенной, ибо проектируются скважины на глубину 15 км и до верхней мантии, а также широко используются данные космических полетов. Неприменима эта форма превращения гипотезы в тео-

рию и к историческим гипотезам, хотя и может несколько увеличить их достоверность.

Следующий путь проверки гипотез — это сравнение всех гипотез о данном явлении и отбрасывание тех из них, выводы которых противоречат фактам. Оставшаяся гипотеза и будет истинной. Использование этой формы весьма ограничено, ибо редко бывает, чтобы известны были все варианты гипотетического объяснения изучаемого явления. Но в частном случае, когда можно сопоставить такие следствия двух основных гипотез, которые исключают друг друга, появляется возможность такого доказательства. Задача состоит в получении взаимно исключающих выводов, которые допускают проверку путем «решающего опыта». Обычно те гипотезы в геологии, следствия которых в большей степени соответствуют фактическому материалу, не превращаются в теорию, а пользуются наибольшим распространением среди исследователей. Следует отметить, что борьба различных гипотез, созданных для объяснения одной и той же проблемы, объективно способствует развитию знания, превращению гипотезы в теорию.

Третья форма превращения гипотезы в теорию состоит в выведении гипотезы из некоторого более общего положения, которое является доказанным, достоверным знанием.

Гипотеза превращается в достоверное знание и путем выведения следствий, которые согласуются с теоретическими, научными законами, которые есть знание, подтвержденное практикой.

Все эти логические формы проверки гипотезы редко имеют самостоятельное значение, чаще выступая в качестве моментов основного пути превращения гипотезы в теорию. Этот главный путь достижения достоверного знания — практика. «В практике должен доказать человек истинность, т. е. действительность и мощь, посюсторонность своего мышления. Спор о действительности или недействительности мышления, изолирующегося от практики, есть чисто схоластический вопрос»,— писал К. Маркс [2, с. 1—2]. Это положение полностью применимо и к проверке гипотез. Гипотезы порождаются запросами практики и превращаются в достоверное знание — теорию — с помощью практики.

Обоснование истинности гипотезы включает в себя два этапа: во-первых, нахождение различных следствий, логических выводов из гипотезы и, во-вторых, практическую проверку этих следствий, сопоставление выводов гипотезы с реальными фактами. Проверка гипотезы заключается в стремлении к одному результату — достоверности. Причем проверяется совокупность выводов, следствий гипотезы. Поскольку научные гипотезы представляют собой системы высказываний, то, как правило, для доказательства истинности гипотезы необходимо соответствие возможно большего количества ее следствий научным фактам. Отдельные новые факты, в том числе и данные эксперимента, не могут превратить гипотезу в теорию, они могут лишь увеличить степень вероятности ее истинности. Это связано с тем обстоятельством, что они могут соответствовать и выводам из других гипотез. Отдельные факты могут доказать истинность только частных гипотез, созданных именно для их объяснения.

Характерна асимметричность значения фактов, подтверждающих гипотезу или противоречащих ей. Множество положительных результатов недостаточно для полного подтверждения гипотезы, один же отрицательный результат достаточен для ее опровержения, если он установлен достоверно и надежно. В то же время неподтверждение следствий недостаточно для опровержения гипотезы, для этого необходимо именно опровержение ее следствий. Основываясь на асимметричности значения фактов, К. Поппер выдвинул критерий фальсификации в качестве основного для отделения научных гипотез и теорий от ненаучных [181, с. 40]. Он считал, что принципиальная возможность опровержения научных положений важнее для их проверки, чем подтверждение. Более того, наука, по его мнению, и занимается поиском негативных свидетельств, ибо только они способствуют развитию науки.

Большое значение для подтверждения гипотезы имеет открытие новых, неизвестных ранее фактов, которые были предсказаны на основе данной гипотезы. В этом случае не только увеличивается вероятность гипотезы, но и может быть достигнуто достоверное знание. Происходит это тогда, когда новые факты и закономерности могут быть объяснены только на основе этой, а не какой-либо другой гипотезы.

Практика как критерий истинности знания не только абсолютна, но и относительна, и поэтому не может сразу отбросить или доказать истинность существующих гипотез. Часто создается такое положение, что гипотеза кажется противоречащей фактам и потому отбрасывается, и только на более высоком уровне развития науки вновь прибегают к помощи старых, ранее отвергнутых гипотез.

Проверка гипотез зависит от степени их абстрактности. Если эмпирические гипотезы проверяются путем сопоставления с опытом возможно большего числа выводов, то теоретические гипотезы не проверяются непосредственно, ибо оперируют идеальными объектами. Проверка их требует использования правил эмпирической интерпретации, для них большое значение имеют внеэмпирические требования — непротиворечивость, простота, согласованность с законами.

Принятие гипотезы, включение ее в систему научного знания происходит сложным путем. Гипотеза, впервые объясняющая те или иные процессы, устанавливающая их связи, не встречает тех препятствий в отношении ее принятия, которые встречает новая гипотеза, представляющая альтернативу существующей.

Превращение гипотезы в теорию не означает прекращения развития знания. Научные теории, будучи относительными истинами, со временем также претерпевают изменения. Но если любая гипотеза может быть отвергнута наукой по мере развития последней, то теория обладает непреходящим значением. Дальнейшее развитие науки может изменить теорию, но та часть ее, которая объективно отражает действительность, сохранится.

Таким образом, история науки показывает, что научное знание не может обходиться без гипотез. Последние представляют собой форму выражения новых идей, ибо после накопления фактического материала обобщение и систематизация его происходят на основе какой-либо гипотезы. Новые данные наблюдения и эксперимента, не совпадающие с выводами прежней гипотезы, приводят к выдвижению новой гипотезы, которая также проверяется на практике. Так, наука подходит к открытию закона, к созданию достоверной теории. Г. И. Рузавин полностью прав, указывая, что

«в опытных науках не существует другого пути открытия законов, кроме постоянного выдвижения и проверки гипотез» [143, с. 164]. Поэтому гипотеза, будучи одной из форм отражения действительности, есть необходимый методологический прием научного познания и разработка вопросов состоятельности гипотез в геологии, повышения их достоверности, превращения в еорию представляется важной и актуальной.

Глава IV

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

МОДЕЛИРОВАНИЕ

Среди основных методов современного исследования все большую роль играет моделирование. Как способ научного познания оно находит применение во многих науках, где эксперимент невозможен или нецелесообразен. На эмпирическом уровне развития науки моделирование используется для общей качественной характеристики объектов, для определения принципиальной возможности того или иного процесса, для выработки его теории. На теоретическом уровне развития науки моделирование широко использует математические методы и дает возможность получать не только качественную, но и количественную характеристику изучаемых процессов.

Рассмотрим особенности (достоинства, возможности, ограниченность и специфику) моделирования геологических процессов и роль этого метода в их познании [см. 110, 112, 122].

Под моделированием в дальнейшем мы будем понимать использование такой системы, которая находится в определенном объективном соответствии с познаваемым объектом и способна так замещать его, что ее изучение дает новые знания о нем. Следует отметить, что такое определение модели несколько условно. Так, согласно этому определению к классу моделей не относятся многочисленные макеты, схемы и ряд карт. Действительно, многие из них используются только в целях демонстрации, наглядности, иллюстра-

ции, но изучение большинства из них почти всегда дает новые сведения. Более того, со временем и наглядные схемы и карты могут служить исследовательским целям, т. е. стать моделью. Так, изучение очертания материков на глобусе, который, согласно определению, не является моделью, привело ряд исследователей к заключению о дрейфе континентов.

К моделям следует относить, по нашему мнению, только такие системы, которые специально создаются или используются для исследовательских целей и задач, т. е. имеют эвристическое значение. Исходя из принятого определения модели, природные объекты-аналоги, выступающие в качестве средства изучения другого геологического объекта, также относятся к моделям (натурные модели).

По своей природе в зависимости от способа реализации модели делятся на материальные и идеальные. К первому классу относятся типы моделей, созданные человеком и существующие объективно, т. е. воплощенные в материальных предметах. К этому же классу моделей относятся и натурные модели — те или иные объекты природы. Наибольшее применение из моделей этого класса в геологических науках нашел метод модельного эксперимента [175, с. 95—101]. В нем модель используется в совокупности с экспериментом, в котором она служит предметом испытания.

Первый этап моделирования — теоретический расчет модели и ее создание. Для этого требуется иметь определенные знания об объекте изучения. Затем исследователь переходит к экспериментальному изучению модели путем наблюдения, измерения, причем как и в обычном эксперименте, в модельном эксперименте возможно изучение того или иного процесса в «чистом виде», возможно изменение различных условий опыта, строгая фиксация учета условий и неоднократное его повторение. Здесь модель выполняет двоякую роль: она и объект изучения, и экспериментальное средство. Однако изучается не природный процесс или объект, а его заместитель. Поэтому требуется теоретическое обоснование экстраполяции полученного знания о модели на исследуемый процесс (оригинал).

Следует отметить, что в структуре модельного эксперимента теоретическая сторона представлена более выпукло, чем в обычном, ибо теоретически обосновы-

вается отношение между моделью и объектом. В то же время в модельном эксперименте, как и в обычном, сохраняется внутренне единство практического действия и теоретического, абстрактного мышления. Заключительный этап моделирования — практическая проверка примененной экстраполяции.

Разновидностью материальных моделей являются кибернетические модели. В основе их применения лежит установленная наукой относительная самостоятельность, независимость функции от структуры объекта, сходство функциональных связей модели и моделируемого объекта. В этом случае мы отвлекаемся от субстанциональной или структурной общности модели и объекта, от внутреннего причинного механизма последнего и делаем упор на функциональную связь.

Идеальные модели существуют лишь в мыслительной деятельности людей, несмотря на то, что функционируют по законам логики, физики, математики. Идеальные модели выступают в качестве определенной абстракции, которая состоит в том, что воспроизводится не весь процесс в целом, а лишь существенная система связи внутри его при условии отвлечения от ряда других сторон или связей. Будучи объективными по своему содержанию, идеальные модели субъективны по своей форме. Нередко идеальные модели воплощаются в материальной форме и даже могут иметь пространственное сходство с объектами исследования, но тем не менее решающим для их классификации является то, что все преобразования в них происходят по законам изучаемого процесса лишь в сознании человека. Это полностью относится к многочисленным картам, схемам и разрезам, используемым в науках о Земле.

Идеальные модели опираются на существующие теоретические положения, данные экспериментов и наблюдений и позволяют дать характеристику исследуемому процессу, вскрыть его зависимость от определенных условий, а также предсказать ряд новых явлений. Приобретение нового знания с помощью идеальных моделей предполагает проверку истинности положений, положенных в основу модели, на практике. Истинность идеальной модели, а вместе с тем и теории, вырастающей из этой модели, проверяется или всей совокупностью данных наблюдений, которая тоже есть

форма практики, но такая ее форма, в которой изменение нами действительности ничтожно в сравнении с масштабами природных явлений, или экспериментальным подтверждением предсказанных моделью процессов, выводов, следствий.

В настоящее время роль идеальных моделей неуклонно возрастает, что связано с углублением познания, переходом его на теоретический уровень, характеризующийся высоким уровнем абстракции и идеализации, позволяющем применять математический аппарат.

Теоретической основой моделирования является теория подобия (для моделей физических), использующая уравнения классической механики, и более общая теория физических аналогий, использующая аппарат математической физики [175, с. 101—109].

Использование модели как метода исследования в геологии началось с момента ее становления, с начала XVIII в. В качестве примера можно привести составление различных геологических карт, которые представляют собой идеальные (образно-знаковые) модели, модели вулканов из серы, смолы и железных опилок, опыты Бюффона по охлаждению железных шаров — моделей Земли и т. д. Но поскольку геология являлась, по существу, описательной наукой о внешних проявлениях естественных процессов на Земле, применение моделей не могло стать эффективным методом их изучения. Больше того, результаты моделирования некоторых геологических процессов, односторонне интерпретированные, использовались как «обоснования» ошибочных гипотез, таких как гипотеза о том, что горение пирита — причина действия вулканов и др. Широкому применению моделей в геологии препятствовали и недостаточное знание движущих сил, источника многих геологических процессов, и, главное, отсутствие разработанной теории переноса данных опытов с моделями на реальные объекты. Систематическое использование моделей в геологии тесно связано именно с проникновением в эту науку идей, методов и принципов точных наук.

В настоящее время происходит увеличение роли теоретических разделов в геологии. Естественно, что на новой, более высокой стадии развития геологии недостаточно общей качественной характеристики тех

или иных природных явлений. Становится необходимым знание количественных параметров систем, выяснение роли отдельных факторов в сложном геологическом процессе, характера связи между ними. И моделирование, использующее математический аппарат, законы физики и химии, становится одним из основных методов научного исследования на современном этапе развития геологии.

Что дает использование моделей в геологии? Каковы достоинства этого метода?

Использование моделей позволяет изучить тот или иной процесс в «чистом виде», без осложняющих его ход и результаты второстепенных сторон и влияний. Сложный процесс как бы расчленяется на отдельные явления, которые и исследуются, другими словами — объект как бы освобождается от связей и отношений, затрудняющих его познание.

Это имеет большое значение для изучения геологических процессов, обладающих определенной спецификой. Изучая следствия таких процессов, для объяснения «механизма» их действия обычно выдвигают ряд гипотез, нередко противоречащих друг другу. Создание модели и опыты с ней в ряде случаев позволяют установить «механизм» процесса, выяснить генезис того или иного объекта, доказав справедливость одной из гипотез. Если геологический процесс довольно сложен, то возможно выяснение его главных, основных причин. На основе моделирования геологических процессов может разрабатываться в таких случаях их теория.

Если на протяжении долгого периода, когда геология была наукой эмпирической, нроверка гипотез осуществлялась почти исключительно путем соотнесения с данными наблюдения, то применение моделирования имеет важное критериальное значение. При этом следует особо подчеркнуть, что экстраполяция модельной информации на объект не может привести к категорическому выводу. Она носит не достоверный, а вероятностный характер. Данные моделирования, проводимого для проверки предположений о структуре объектов, для получения тех или иных констант, свойств изучаемых объектов имеют большую степень достоверности, чем в случае определения их генезиса. В то же время модель

следует отличать от гипотезы, которая проверяется с ее помощью. Так, В. Н. Комаров в качестве моделей рассматривает гипотезы расширяющейся Земли, мобилизма, что вряд ли верно [80, с. 132].

В области генезиса магматических пород моделированием установлена возможность ликвации (разделения) сульфидной и силикатной магм; в области осадочного породообразования А. В. Казаковым на основании изучения системы $CaO — P_2O_5 — H_2O$ обоснована новая теория происхождения фосфоритов как морских химических осадков; в области эндогенного рудообразования выяснены формы и механизм переноса ряда рудных элементов в рудообразующих растворах. Эксперименты, моделирующие взаимодействие расплавов гранита и других силикатных пород с известняками, позволили вскрыть механизм отделения, концентрации и выноса рудного вещества из расплава с тонкой экстракцией при этом рассеянных металлов [127]. Поэтому Л. Н. Овчинников подчеркивает, что «не прибегая к моделированию и основываясь только на отдельных физико-химических данных, можно неограниченное время находиться в заблуждении относительно истинного хода процесса» [127, с. 4].

Интересно, что и для выяснения генезиса некоторых месторождений решающее значение имело применение моделирования.

В геотектонике моделирование показало возможность всплывания соляных куполов и позволило выявить зависимость их распределения в пространстве от мощности и вязкости соляной толщи. Модельный эксперимент в тектонике позволяет получить более полные выводы по сравнению с полевыми данными и, что важнее всего, выяснить механизм формирования тех или иных структур, более или менее достоверную картину их генезиса [27]. В качестве основных принципов моделирования тектонических процессов М. В. Гзовский предлагает следующие:

1. Принцип подобия моделей природным объектам.
2. Принцип избирательности моделей (селективности) относительно процессов, происходящих в природных объектах.
3. Принцип раздельного изучения на моделях (сепарации) тех существенных факторов, которые в при-

родных объектах действуют совместно... После раздельного изучения следует испытывать сложные модели, подверженные воздействию совокупности ранее исследованных факторов.
4. Принцип последовательных приближений (аппроксимации) к полному подобию моделей и природных объектов.
5. Принцип статистической обоснованности заключений о результатах испытаний моделей [56, с. 315—316].

М. В. Гзовский довольно подробно рассматривает и вопросы доказательства принципиальной возможности и практической осуществимости моделирования тектонических процессов.

Достоинство моделирования — это также возможность создания контролируемых условий протекания процесса и неоднократного его повторения. В результате появляется возможность получить количественные (при исследовании процессов минералообразования — термодинамические и физико-химические) данные о природном процессе (температуру, давление, состав растворов и концентрацию в них компонентов, скорость реакции, диффузии, фильтрации и т. д.). Без этих точных количественных данных теоретическое моделирование остается только качественной схемой изучаемого процесса. В минералогии и петрографии именно теоретическое моделирование, использующее законы физической химии, термодинамики и математический аппарат, является основным источником познания условий и особенностей процессов образования минералов и горных пород. В тектонике в результате применения моделей установлен ряд закономерностей, связывающих деформации и разрывы материала с его механическими свойствами и условиями деформации.

Опыты с моделями позволяют (при известной системе сил) находить количественные соотношения между движениями поверхности и величиной напряжений на глубине, что весьма важно для понимания физических условий образования нефти, метаморфизма угля, формирования месторождений гидротермальных руд, прогнозов землетрясений и т. д. В геоморфологии моделирование эрозионно-аккумулятивных процессов позволяет установить влияние на них климатических и тек-

тонических факторов, изменения базиса эрозии. С помощью моделирования решаются вопросы формирования эолового и карстового рельефа, изучается влияние ледников на рельеф, морского волнения на берег и многие другие проблемы.

Следует отметить еще одну, существенную для изучения природных процессов, функцию модели: последняя прокладывает путь к эксперименту, облегчая проведение опыта в условиях, допускающих не только качественную, но и количественную оценку. Естественно, при этом происходит некоторое упрощение, «огрубление» действительности, абстрагирование от ряда условий. Теория в таком случае связывается с действительностью через определенную цепь: теория — идеальная модель — материальная модель — эксперимент — измененная действительность. Модель используется здесь для проверки и уточнения теории, для ее интерпретации, как звено связи теории с практикой (действительностью). Естественно, что в этой цепи не всегда могут наличествовать все звенья.

Большим преимуществом метода моделирования является возможность изучения процессов, недоступных непосредственному экспериментальному исследованию. Масштаб многих геологических процессов настолько велик, а их длительность столь значительна, что эксперимент невозможен. Полностью это относится и к изучению глубинных геологических процессов, протекающих при огромном давлении и высокой температуре, недостижимых в настоящее время в лаборатории. Так, давление от подошвы земной коры до центра Земли изменяется от 10 тыс. до 4 млн. атм, а температура — от 500 до 10 000°С. При современном состоянии физики достаточно хорошо изучается состояние вещества только до давлений 200 тыс. атм. В подобных случаях в геофизике применяются математические (идеальные) модели. Они позволяют дать общую характеристику моделируемого процесса и вскрыть его зависимость от определенных условий.

На основе общих теоретических представлений создается физическая гипотеза, объясняющая природу того или иного процесса. Данные, вытекающие из гипотезы, ее следствия сопоставляются с фактическими данными наблюдения как с точки зрения самой при-

роды процесса, так и его результатов, численных параметров. Непротиворечивость последних и следствий гипотезы служат доказательством истинности гипотезы. Такой метод широко распространен при создании моделей внутреннего строения Земли. Здесь следует отметить, что по мере развития техники возможности модельного эксперимента увеличиваются.

Сейчас актуальна проблема изучения «астеносферы», залегающей в интервале глубин 50—100 и 200—400 км от поверхности. Это одна из самых интересных зон Земли, ибо считается, что в ее пределах идет активная дифференциация вещества мантии Земли, приводящая к усложнению структуры нашей планеты.

Несмотря на эти очевидные достоинства моделирования, в науках о Земле этот метод еще не получил широкого развития, что обусловлено рядом общих и специфических факторов. Прежде всего, моделирование всегда требует упрощения условий, хода изучаемого процесса. Причем это упрощение имеет предел, за которым теряется объективное соответствие принятой модели реальному объекту и может происходить отрыв от действительности.

Кроме того, на применении моделирования своеобразно отражаются и указанные выше особенности геологических процессов. Последние протекают чрезвычайно медленно и имеют громадные масштабы. Преобразования структуры Земли, ее состава и морфологии поверхности, как правило, необратимы и неповторимы. Аналогии с современными процессами не всегда позволяют раскрыть картину образования тех или иных геологических объектов, поскольку поступательное развитие Земли происходило неравномерно, скачкообразно. На течение и результат многих геологических процессов оказывают влияние различные по своей природе факторы, в них взаимодействуют различные формы движения материи — физическая, химическая и биологическая. Следует отметить, что участие и роль отдельных факторов в ряде геологических процессов пока не выяснены. Поэтому при построении модели часто велика доля субъективного, интуитивного разделения факторов на главные и второстепенные, существенные и несущественные, что отражается на достоверности данных моделирования, которая зависит

от существенности общих свойств модели и объекта, учета главного, основного в них.

Другой ограниченностью метода моделирования является то обстоятельство, что данные опытов с моделями не имеют непосредственного характера. Требуется всегда теоретическое обоснование «переноса» результатов моделирования на реальные объекты и явления. При этом могут быть сделаны значительные корректировки данных моделирования, учитывающие упрощение моделей и условий опытов с ними. Экстраполяция модельной информации на объект не может привести к категорическому выводу. Она носит не достоверный, а статистический характер. Для повышения достоверности данных моделирования необходимо установление возможно большего количества общих свойств модели и объекта и увеличение степени существенности их. Очень важен учет всех свойств, признаков и условий изучаемого процесса. При переносе результатов моделирования необходимы точность языка, однозначность понятий, употребляемых в моделировании и при описании объекта.

При исследовании геологических процессов всегда следует считаться с разнообразием условий их протекания. Даже если известны движущие силы этих процессов, изменение условий их хода часто значительно изменяет результат процессов. Кроме того, к настоящему времени нет единодушия взглядов на причину, «механизм» действия ряда геологических процессов, ибо одно следствие (результат действия в виде горной породы, руды, складки и т. д.) может быть обусловлено рядом причин, имеющих различную природу. Так, по мнению одних исследователей, складкообразование является результатом действия горизонтальных движений земной коры, по мнению других,— вертикальных движений, имеющих совершенно иную природу; образование гранита одни рассматривают как следствие магматических процессов, другие — как метаморфических. Эта проблема учета конвергентной неопределенности весьма значима для геологического исследования. Геофизика также часто имеет дело с «некорректно поставленными задачами», когда данным наблюдения могут соответствовать различные состояния изучаемого объекта. Не следует преуменьшать и технические

трудности моделирования геологических процессов: необходимость достижения высокой температуры, громадного давления, одновременного присутствия многих активных веществ. Так, в лаборатории возможно производить опыты с кратковременными нагрузками в миллионы атмосфер, но только в течение микросекунд, и делать однозначные выводы о состоянии вещества в ядре Земли на основании этих опытов с моделями вряд ли правильно. Ряд других опытов, даже при соблюдении всех требований механического подобия, в силу различия условий в природе и лаборатории, не может дать однозначных выводов. Поэтому при построении теории исследуемого процесса всегда происходит определенное корректирование модельных объяснений.

Достоверность данных моделирования зависит, таким образом, от полноты учета всех общих свойств объекта и модели, увеличения степени их существенности и разработки вопросов переноса модельной информации на изучаемый объект или процесс. И по мере совершенствования теории переноса данных моделирования на объект, более полного и глубокого изучения геологических процессов достоверность модели и действенность моделирования будут все более возрастать.

Отмеченные особенности геологических процессов не только усложняют использование моделирования при их изучении, но своеобразно отражаются в сознании некоторых исследователей. Последние склонны переоценивать эти трудности и под этим предлогом выступают против моделирования и неразрывно с ним связанной идеализации.

На страницах геологической печати прошли весьма острые дискуссии о «механическом анализе», «идеализации» геологических процессов, и эти дискуссии показали, что методологические вопросы моделирования сложных природных систем не разработаны достаточно полно [см. 112], что отразилось, в частности, в работах С. М. Симкина и А. М. Шурыгина.

С. М. Симкин говорит о «крайней идеализации и схематизации» некоторых процессов минералообразования. Он на словах приветствует применение термодинамики и математики в геологии, но выступает против теории Д. С. Коржинского, который применяет

термодинамические модели, использующие правило фаз и математический анализ. С. М. Симкин выдвигает следующие возражения методологического характера. По его мнению, невозможна «замена общепринятого в геологии и исторически оправдавшего себя генетического подхода к процессу минералообразования, как к развивающемуся во времени, представлением о нем как о всегда равновесном процессе» [149, с. 103]. С. М. Симкин считает, что «идеальный» моделируемый метасоматический процесс не отражает «основные черты, стороны и условия реальных геологических процессов» [149, с. 103]. «Механическая замена сложно протекающих необратимых геологических процессов развития земной коры схематизированными предельными случаями равновесия исключает возможность изучения причин возникновения и особенностей развития этих процессов» [149, с. 104].

Если эта критика ведется под флагом «материалистического объяснения природных процессов», то далее суть этого объяснения становится очевидной. «Мы приходим к выводу о том, что «идеально» или «вполне подвижные» компоненты вымышлены и реально в природе не существуют. Понятие о «вполне подвижных» компонентах абстрактно и не имеет физического, а тем более геологического смысла» [с. 105]. Понятия «идеальная подвижность» и «вполне подвижные» компоненты придают теории минералообразования Д. С. Коржинского «идеалистический характер».

Эти выдержки из работы С. М. Симкина свидетельствуют о непонимании им диалектического пути познания, ибо само название «идеальные» уже говорит о том, что они вымышлены; любое понятие есть абстракция и, если оно верно, то имеет один, и только один смысл.

Остановимся более подробно на вопросе идеализации. С. М. Симкин, как мы видим, путает идеализацию с идеализмом. Он считает, что применение идеализации может вывести исследователя «за пределы реального мира» и привести его «к отходу от материалистического объяснения природных процессов» [с. 105]. Так ли это?

Проблема идеализации — одна из основных проблем теории познания, ибо она тесно связана со способом отражения изменяющейся, движущейся действитель-

ности в научных теориях. Уже изображение мыслью движения есть упрощение, «огрубление». Бесконечность свойств и отношений движущейся материи требует известного «омертвления», «огрубления» действительности в процессе познания. «Мы не можем,— отмечал В. И. Ленин,— представить, выразить, смерить, изобразить движения, не прервав непрерывного, не упростив, угрубив, не разделив, не омертвив живого» [12, с. 233]. Поэтому познание всегда связано не с материальным миром, находящимся в движении и развитии, а с «омертвленной», «огрубленной» действительностью. Создание научной системы невозможно без так называемой «идеализации» объектов познания — создания особых, идеализированных объектов. По этой же причине выдвигаемое некоторыми исследователями требование «геологичности» модели природных процессов всегда требует уточнения, конкретизации.

А. М. Шурыгин выдвигает в качестве истинности модели требование: «Модель должна быть геологична... Любые универсальные схемы формализованных понятий вряд ли будут здесь полезны именно в силу их универсальности» [176, с. 137, 138]. Но требование конкретности, наглядности, максимального приближения к изучаемому объекту отнюдь не обязательно для всех видов исследования. Известно, что абстракции более высокого порядка, наиболее далекие от предмета, могут вскрывать и более глубокие законы структуры и развития того или иного объекта. В. И. Ленин в «Философских тетрадях» указывал, что «движение познания к объекту всегда может идти лишь диалектически: отойти, чтобы вернее попасть — отступить, чтобы лучше прыгнуть (познать)» [12, с. 252].

Правомерность любой идеализации, вводимой в теорию, доказывается применимостью на практике всей теории в целом или экспериментальным подтверждением ее следствий, выводов, предсказаний. Успешное использование теории на практике говорит о том, что вводимые в науку идеализации являются не вздорными, а вполне научными, способствующими решению практических и теоретических задач. Идеализм же, как известно, начинается там, где первичным признается сознание, идея и где за идеальными понятиями не признается объективной реальности. К идеализму ведет абсолюти-

зация идеальных понятий, когда же эти понятия рассматриваются как *отражение* материального мира, там нет никакого идеализма.

Практического подтверждения «идеальные» компоненты, разумеется, найти не могут, но в основе их выделения лежат действительные, объективные различия компонентов, подтвержденные в последнее время экспериментами на моделях. Теория Д. С. Коржинского, как определенная математическая модель, использующая термодинамические расчеты и законы физической химии, объяснила наблюдающийся в природе парагенезис минералов и позволила сделать ряд важных прогнозов. Так, эта теория объяснила причину наблюдаемых ассоциаций минералов, различных ореолов рассеяния и концентрации веществ, определенной вертикальной зональности потока послемагматических растворов. Модели процессов минералообразования Д. С. Коржинского позволили выдвинуть ряд критериев для отличия магматических образований от метасоматических, инфильтрационных от диффузионных, предсказать характер фильтрационного эффекта [82].

О правомерности примененной в теории Д. С. Коржинского идеализации свидетельствуют: соответствие одних ее разделов совокупности геологических наблюдений, а для других разделов — экспериментальное подтверждение предсказанных теорией явлений.

Выступая против математических моделей и формализации понятий, А. М. Шурыгин ссылается на то, что эти построения не признаются немедленно большинством исследователей: «Геологические знания развиваются, и любая модель, заготовленная впрок, устареет, если ею сразу никто не воспользуется» [176, с. 137]. А поскольку-де модели геологических объектов новосибирских авторов не являются общепринятыми, то эти модели становятся ненужными. Но истинность модели заключается не в том, признае́т ее большинство ученых или нет, признáет «сразу» или постепенно, а в адекватности модели реальным объектам, в наличии общих законов для модели и объектов. Если математическая модель позволяет вскрыть сущность тех или иных объектов, то она истинна и, без сомнения, завоюет умы большинства исследователей. Об этом свидетельствует весь ход развития человеческого знания.

Более того, принципиально новые положения вообще сразу, как правило, не признаются в силу инерции, господства привычного стиля мышления, закрепленного в понятиях «здравого смысла» эпохи. «Научные истины всегда парадоксальны,— писал К. Маркс,— если судить на основании повседневного опыта, который улавливает лишь обманчивую видимость вещей» [4, с.131].

В связи с математизацией естествознания роль математического моделирования в науках о Земле все более возрастает. Математическая модель позволяет не только выяснить количественные соотношения в изучаемом процессе, но и описывать и выяснять его качественную характеристику, многие существенные его стороны. Функциональные зависимости, лежащие, например, в основе кибернетического моделирования, служат объективным выражением сущности объекта, хотя причинный механизм связи этого явления с сущностью может быть и неизвестным. Это положение весьма часто встречается в науках о Земле, когда эмпирически установлены многие признаки, свойства, связи объекта, а их причинная связь еще не выявлена. В качестве примера можно привести решение задач по классификации объекта по комплексу косвенных (геологических, геофизических и геохимических) данных, которые решаются с помощью ЭВМ.

Кибернетическая модель создается на основе ввода в ЭВМ определенных параметров, характеризующих свойства геологических объектов. Машина по определенной программе вырабатывает критерии классификации их по совокупности свойств в виде набора логических функций от значений параметров — обучается. Выводы моделирования проверяются на известных объектах и в случае достаточной надежности полученные критерии используются для классификации природных объектов. Кибернетическое моделирование используется для определения рудных и безрудных участков, генезиса различных геологических образований, интерпретации аномалий, коррелирования немых толщ и т. д. [54].

Каково же будущее моделирования в геологическом исследовании, какова перспектива его применения? Здесь, нам кажется, следует выделить три основных момента. Во-первых, в настоящее время расширяется

круг проблем в геологических науках, решаемых с помощью моделей. Причем эти проблемы имеют важное значение и для создания и развития теоретической геологии, и для решения практических задач народного хозяйства.

Во-вторых, по мере накопления большого фактического материала о геологических процессах, его глубокого научного анализа все более полно и всесторонне будет выясняться сущность природных процессов и условий их протекания (при возрастающей роли моделирования и эксперимента). Это естественно будет способствовать повышению достоверности выводов моделирования, действенности этого метода.

Далее следует отметить, что многие теоретические и методологические вопросы моделирования в геологии разработаны недостаточно. Это касается и проблем принципиальной применимости моделирования к исследованию природных объектов, и проблем экстраполяции модельной информации на геологические объекты. Поэтому, в-третьих, решение вопросов приближенного подобия сложных систем — вопросов геологического подобия — безусловно, повысит эффективность опытов с моделями, позволит использовать их во многих геологических науках, где в настоящее время моделирование применяется недостаточно. Мы полностью согласны с мнением Г. Л. Поспелова, что «необходима дальнейшая разработка общих принципов физического, физико-химического, а также математического моделирования геологических систем, без чего геологии уже становится ощутимо трудно двигаться дальше, в частности, в области теории магматизма и рудообразования» [139, с. 5].

Итак, моделирование геологических процессов выдвигает ряд сложных методологических проблем. Тем не менее применение моделей, связанное с широким внедрением в науки о Земле идей и методов математики, физики и химии, обогащает и углубляет геологическое исследование, позволяя в ряде случаев установить механизм природного процесса, для объяснения которого было предложено несколько гипотез, предсказать возможность новых явлений, обосновать новый способ образования геологических объектов. Следовательно, применение моделирования в науках о Земле — эффек-

тивное средство познания закономерностей геологических явлений, и роль его будет в дальнейшем возрастать.

ИСТОРИЧЕСКИЙ МЕТОД

Особенности исторического исследования

Исторический подход к познанию действительности — важнейший методологический принцип, одно из требований диалектической логики. Он основывается на диалектике как общей теории развития. «Самое важное, чтобы подойти к ...вопросу с точки зрения научной,— писал В. И. Ленин,— это — не забывать основной исторической связи, смотреть на каждый вопрос с точки зрения того, как известное явление в истории возникло, какие главные этапы в своем развитии это явление проходило, и с точки зрения этого его развития смотреть, чем данная вещь стала теперь» [13, с. 67].

Непреложным условием историзма как принципа является необходимость конкретно-исторического подхода в познании. Любой объект существует в конкретных пространстве и времени. Эта конкретность бытия объектов обусловливает и конкретность их познания. Небходим учет всех условий и связей объекта. Знание отдельных сторон объекта, или, наоборот, только общих черт недостаточно для истинных выводов о ней. К. Маркс отмечал, что «минералог, вся наука которого ограничивалась бы установлением той истины, что все минералы в действительности суть «минерал вообще», был бы минералогом лишь в собственном воображении» [1, с. 63]. Кроме того, абстрактный подход содержит возможность появления различного рода ошибок в познании, неверного истолкования эмпирических данных. Так, данные исследования современного осадкообразования в водоемах без определенных поправок нельзя привлекать для объяснения процессов осадконакопления прошлого, ибо оно во многом происходило в других условиях (иной состав атмосферы, солевой режим водоема, иная роль организмов и т. д.). И, более того, некоторые геологические образования прошлого не

имеют аналогов в современных процессах. Поэтому при историческом подходе к изучению объектов необходимо анализировать их во взаимодействии с окружающей средой, с другими предметами и явлениями.

Выражением принципа историзма в познании является и требование конкретности истины. Неприятие этого требования приводит к догматизму. Догматизм рассматривает истину как застывшее, неизменное знание, отрицает необходимость замены устаревших теоретических положений новыми. Исторический подход требует рассматривать истину как процесс, в котором представления изменяются, отражая развитие самого объекта исследования. Причем изменяются не только те или иные теоретические положения, но и понятия, их смысл. На новом уровне научного познания обычно изменяется и понятийный аппарат науки.

Из принципа историзма органически следует и исторический метод как способ исследования развивающихся объектов, как один из общенаучных методов познания. Исторический метод во многих науках о Земле получил широкое развитие. Но, несмотря на длительную историю его применения в этих науках, сама структура метода, его сущность и возможности специально не исследовались. Пользовались им зачастую стихийно или с опорой лишь на общие положения. Однако в последнее время появились и специальные исследования, посвященные более полному, всестороннему анализу исторического метода [65, 135, 161].

Исторический метод представляет собой систему мыслительных операций, с помощью которых восстанавливается вся история объекта исследования. Она реконструируется логическим путем на основании изучения тех или иных следов прошлого, остатков прошлых эпох, запечатленных в материальных образованиях (природных или созданных человеком). Для исторического исследования действительности характерна хронологическая последовательность рассмотрения материала, анализ этапов развития объектов исследования. С помощью исторического метода прослеживается вся эволюция объекта от его зарождения и до современного состояния, исследуются генетические отношения развивающегося объекта, выясняются движущие силы и условия развития объекта. Последовательность в сис-

теме знаний определяется самим историческим порядком вещей и явлений: что было исторически первым в действительности, должно быть первым в научном изложении.

Содержание исторического метода лучше всего раскрывается в структуре исторического исследования. Н. П. Французова выделяет следующие этапы такого исследования: 1) изучение «следов прошлого» как результатов исторических процессов; 2) сопоставление их с результатами современных процессов и предположения о возможности применения знаний о характере и причинах современных процессов к реконструкции прошлого; 3) воссоздание событий и явлений прошлого в их пространственно-временных отношениях на основе интерпретации «следов прошлого» с помощью знания о современных процессах; 4) выделение основных этапов развития и причин перехода от одной стадии развития к другой [161, с. 152.]

На первой стадии важно преобразовать пространственные отношения между геологическими образованиями во временную последовательность: Часто вертикальные взаимоотношения пластов рассматриваются как образованные последовательно во времени. Но эти взаимоотношения отнюдь не порождают друг друга, между ними нет прямой генетической связи. Большую роль на первом этапе играет сравнительный метод, научная классификация. На второй стадии с помощью актуализма создается общая картина процессов, строятся предположения о характере их и движущих силах. Особенно значима здесь аналогия. На следующей стадии изучаются современные геологические процессы, например осадкообразование в различных зонах морских бассейнов и различных климатических зонах континентов. Это необходимо для выяснения генезиса горных пород и реконструкции конкретной обстановки их образования. На заключительной стадии исторического исследования осуществляется теоретическое воссоздание процессов развития в целом. Здесь выясняются взаимосвязи исторических событий, выделяются отдельные стадии их изменения. На этой стадии весьма весомы системный анализ и гипотеза.

Н. П. Французова не без основания считает, что выделение основных этапов исторического познания

необходимо для более плодотворного применения исторического метода [161, с. 301]. В ее монографии достаточно полно и четко показан комплексный, синтетический характер исторического исследования. В то же время некоторые вопросы исторического исследования нуждаются, по нашему мнению, в дальнейшем уточнении и разработке. В частности, второй и третий этапы исторического познания недостаточно четко отделены друг от друга, их различия не совсем ясны. Так, на втором этапе, по мнению Н. П. Французовой, осуществляется сопоставление «следов прошлого» с современными явлениями и на третьем — интерпретация «следов прошлого» с помощью знания о современных процессах. На втором этапе изучаются современные процессы и на третьем они изучаются, на втором этапе знание о них «переносится» на процессы прошлого с помощью актуализма, и на третьем — процессы прошлого реконструируются с помощью аналогии. Н. П. Французова отделяет вторую стадию исторического исследования от третьей как бы по полноте и глубине познания, а не по определенной временной последовательности изучения, как все остальные, что нарушает целостность выделенных ею этапов. Более логично вторым этапом исторического исследования считать глубокое изучение современных процессов, а третьим — сопоставление «следов прошлого» с современными процессами и реконструкцию событий прошлого.

Дело в том, что все историческое исследование в целом может быть проведено либо на эмпирическом уровне, либо на теоретическом, причем это относится ко всем этапам без исключения. У Н. П. Французовой же первые два этапа исторического исследования в основном эмпирические, а два последующие — теоретические, что вряд ли логично. И, действительно, подчеркивая ограниченность, недостаточность актуализма для восстановления событий прошлого на второй стадии исторического исследования, она на третьей стадии для восстановления событий прошлого вновь обращается к актуализму. Не случайно характеристика третьей стадии исторического исследования дана в монографии весьма кратко и особенности ее выявлены недостаточно, подчеркнута только роль научного эксперимента на этой стадии.

Применяя исторический метод, исследователь восстанавливает историю развития объекта в основном логическим путем. Поэтому большую роль в процессе обработки эмпирических данных, исторических фактов для получения научных результатов исторического исследования играет использование таких методов и приемов, как гипотеза, сравнение, умозаключение, логическое обобщение и аналогия. Н. П. Французова верно отмечает, что «любому детальному историческому исследованию предшествуют предположения о характере процессов развития в области изучаемых конкретных явлений, а весь процесс исследования можно рассматривать как конкретизацию и проверку этих предположений... Без гипотез невозможно и воссоздание в теории событий минувшего. Но особенно важное значение они приобретают при реконструкции этапов развития» [161, с. 142—143].

Особенно большое место в исторических исследованиях отведено сравнению. Оно «действует» в них в «вертикальном» плане, в плане учета фактора времени. Сравниваются не любые объекты и формы объектов, а те, которые образуют генетически единый ряд развития. Это и будет сравнительно-историческое исследование, а его метод — сравнительно историческим. Зачастую для сравнительно-исторических исследований важно предварительно изучить современную форму объекта, генезис которого требуется выяснить. Само историческое исследование в таком случае не совпадает с действительным исходным пунктом, началом развития. Реконструкция хода изучаемого процесса осуществляется по его результату, т. е. современной форме. Историческое исследование в таком случае усложняется, включает в себя не только реконструкцию процессов прошлого, но и сравнение этих процессов между собой и с современными. Естественно, что для такого исследования необходимы определенные исторические документы, т. е. геологические образования промежуточных периодов времени.

Сравнительно-исторический метод некоторые исследователи считают ведущим в геологии. Так, Е. А. Кужжковская пишет: «Ведущим методом, синтезирующим все разнообразные методы геологического исследования в единой геологической теории, остается срав-

нительно-исторический. Этот метод является основанием применения и развития всех специальных методов, подчиняя их принципу историзма» [91, с. 117—118]. Но, несмотря на широкое его применение в геологии, содержание и возможности метода специально не исследовались. Ведущие советские геологи так характеризуют степень разработки его основ: «Сравнительно-исторический метод стал довольно широко распространенным методом исследования в литологии, тектонике, вулканологии и в ряде других геологических и естественно-исторических наук. К сожалению, этот метод в геологии и, в частности, в литологии еще совершенно не разработан. Единственной областью естествознания, где он подвергся тщательной, всесторонней и наиболее полной разработке, является сравнительная анатомия. В геологии он используется широко, но, к сожалению, без достаточной методологической разработки» [172, с. 149]. Очень часто его отождествляют либо с актуализмом, либо со сравнительным или историческим методами. Выше мы уже останавливались на критике этих положений.

Применение исторического метода в науках о Земле имеет длительную историю. Первые попытки использования его в геологии можно найти у М. В. Ломоносова. В работе «О слоях земных» он писал: «Твердо помнить должно, что видимые телесные на земле вещи и весь мир не в таком состоянии были с начала от создания, как ныне находим, но великие происходили в нем перемены, что показывает история и древняя география, с нынешнею снесенная, и случающиеся в наши веки перемены земной поверхности» [97, с. 574]. Затем исторический метод все чаще берут на вооружение естествоиспытатели. Кант и Лаплас прибегли к нему в астрономии; Лайель ввел в геологию метод актуализма, где сравнение природных процессов проводится в историческом плане.

Распространенность применения исторического метода в науках о Земле вызвана сознанием того обстоятельства, что объектом исследования многих из них являются развивающиеся системы. Как в целом наша планета, так и отдельные ее оболочки, геологические тела претерпевали со временем разнообразные изменения. Изменялись в течение геологических эпох про-

цессы магматического, метаморфического и осадочного породообразования, чередовались эпохи трансгрессий и регрессий, горообразования и пенепленизации, изменялся состав атмосферы и увеличивалась роль живых организмов в геологической жизни планеты. Значительно изменялись на протяжении истории Земли ее структура и химический состав. Подчеркивая эту особенность истории Земли, В. И. Вернадский писал: «Благодаря радиоактивному распаду идет заметное только в большие промежутки времени изменение атомного состава планеты — эволюция ее вещества и ее активной энергии. Химически наша планета сейчас и два миллиарда лет позже или раньше — разные тела» [38, с. 225]. Современные научные данные полностью подтверждают это мнение.

Поскольку современные геологические образования являются продуктами истории, результатами длительного развития, то для их познания необходимо эту историю проследить, выяснить. Надо отметить, что само понятие «развитие» в философской литературе употребляется в разных значениях, и, не вдаваясь в полемику, далее мы будем понимать под ним направленное и необратимое изменение объекта. По отношению к Земле и процессам, происходящим на ней, можно выделить две ветви развития: одну — ведущую к возникновению жизни, другую — ведущую к усложнению структуры Земли, образованию геосфер. Б. М. Кедров, выделивший эти ветви развития природы, рассматривал их как прогрессивные, но первую — как «перспективную», выводящую за пределы неживой природы, а вторую — как «неперспективную» [76, с. 395]. В дальнейшем мы будем иметь в виду именно вторую ветвь развития [106].

Основной тенденцией развития нашей планеты являются процессы ее дифференциации на ядро и мантию и образование вторичных геосфер: литосферы, гидросферы и атмосферы. Причем после их образования внешние оболочки Земли также значительно изменялись, увеличивался их объем, масса, усложнялись их строение и роль в развитии системы. Так, главное направление развития земной коры — изменение ее структуры: площадь подвижных ее участков, геосинклиналей, уменьшается и увеличивается площадь платформ, т. е. устойчивых участков суши. К началу протерозоя гео-

синклинали занимали всю площадь суши, к концу этого этапа — около 50%, а к настоящему времени их площадь сократилась до 10% суши.

Изучая такую развивающуюся систему, исследователи не могли не использовать исторический метод, его применение закономерно и оправданно. Но из констатации громадного значения исторического метода во многих геологических науках некоторые исследователи сделали вывод об обязательном его применении в любом геологическом исследовании. По их мнению, только с раскрытием истории, решением вопросов происхождения и развития объектов можно решить и многие другие проблемы (строения, состава, распространения этих объектов). Преувеличение роли исторического метода ведет к неверным методологическим выводам, к недооценке других методов исследования. В частности, методы точных наук — физики, химии, математики, где исторический метод не играет существенной роли, нередко противопоставляются геологическим, как преимущественно историческим.

Иногда делаются выводы, что методы точных наук не могут быть применимы в геологическом исследовании из-за качественного характера геологических данных и историчности природных объектов. Характерно в этом отношении мнение известного геолога С. Н. Бубнова: «Этот исторический момент является особенностью геологии и важнейшей основой ее методики. Отправная точка феноменологического естествознания — математически обоснованный опыт — в геологии не играет и не может играть решающей роли» [32, с. 22]. Е. В. Шанцер отводит историческому методу главную роль в тектонике — науке о структуре земной коры. По этому поводу он пишет: «...изучение физической природы складчатых и разрывных деформаций земной коры, основанное на приложении законов теории пластичности и реологии, сколь бы оно ни было глубоким и сколь бы остроумными и доказательными экспериментальными исследованиями не подкреплялось, не может дать цельного представления о закономерностях течения процессов развития тектонических структур. Являясь несомненно очень важными, подобные исследования способны вскрыть лишь сущность отдельных составляющих элементов этих сложных процессов или

же некоторые сопровождающие их явления. Но только историко-геологический анализ может дать полную картину хода развития тектонических структур, помогая тем самым нащупать и верные пути к отысканию важнейших его закономерностей и коренных причин» [168, с. 18].

Трудно согласиться с этим мнением. «Нащупанные» с помощью исторического метода, основанного только на наблюдении, «важнейшие закономерности» имеют эмпирический характер и вряд ли могут вскрыть «коренные причины» тектонических процессов. Исторический метод не является универсальным и должен обязательно быть дополнен другими методами для комплексного исследования сложных природных объектов. Больше того, история объекта на теоретическом уровне создается после изучения его структуры и выявления сущности, и чем полнее они выявлены, тем достовернее «полная картина хода развития» объекта изучения. На преувеличение значения исторического метода (что наносит известный ущерб развитию логической основы геологии) указывают и другие исследователи [62, с. 22; 86, с. 55].

В геологии в основе исторического исследования все еще лежат традиционные предпосылки — непосредственное наблюдение и сравнение. Поэтому полученные выводы имеют невысокую достоверность и всегда требуют дальнейшего обоснования и проверки с помощью других методов. Кроме того что результаты ретроспективных построений всегда гипотетичны, для вывода более вероятного необходимо иметь достаточно полную фактическую базу, а это не всегда возможно в силу и объективной неполноты геологических данных и ограниченности возможностей методов исследования.

Одних эмпирических фактов без знания законов, без развитой теории для познания истории развития объекта недостаточно, историческое исследование здесь дает только хронологию событий, их последовательность. Вот почему М. М. Тетяев писал следующее: «В представлениях об истории развития Земли теряется самое содержание этой истории... В сущности говоря, то, что мы понимаем сейчас под исторической геологией, есть не что иное, как хронология, где мы имеем разделение на периоды, характеризующиеся

только изменениями в органическом мире. Внутреннее содержание различных периодов отсутствует и подменяется бесконечной повторяемостью. Поэтому мы можем сравнить современное понимание истории Земли с теми прежними представлениями об истории человеческого общества, когда она изображалась как смена царей, династий, войн и т. д., т. е. указывались чисто внешние признаки проявления, а внутренние законы развития человеческого общества не были еще осознаны» [154, с. 31].

Для установления исторических связей необходимо выявление структурных, функциональных, каузальных и других связей и отношений. Только путем теоретического объяснения всех эмпирических фактов и использования законов можно выявить общие закономерности развития природных объектов. Исторический метод имеет большое значение в геологии в тех ее разделах, где основная задача — восстановление истории тех или иных геологических объектов. Таковы историческая геология, стратиграфия, частично палеонтология, палеогеоморфология и некоторые другие. Но многие науки геологического цикла используют иные методы, абстрагируются от истории объекта познания. К таковым относятся петрография, минералогия, тектоника. Это не значит, что они не используют исторический метод, просто он для них не основной. Если определение генезиса объекта и составляет одну из задач в этих науках, то она подчинена более важной задаче причинного объяснения и на этом основании — точного предсказания.

Некоторые исследователи противопоставляют историческому методу системный подход. Поэтому представляется целесообразным кратко рассмотреть сущность системного подхода и его соотношение с историческим (генетическим) методом.

Исторический (генетический) метод и системный подход

Для современного естествознания характерно все большее применение системного подхода. Хотя при определении системы различными исследователями нет единства взглядов, но большинство считает, что систе-

ма характеризуется комплексом элементов, образующих ее, целостностью, определяющей ее стабильность и выделяющей ее среди других систем, наличием связи с условиями существования. Изучаемый объект может быть расчленен на элементы неоднозначным образом в зависимости от условий и потребностей практической познавательной деятельности.

Элементами системы могут быть такие относительно неделимые ее части, которые характеризуются не сами по себе, а свойства и функции которых определяются их местом в рамках всей системы. Естественно, данные элементы в других системах могут быть делимы и весьма сложны. Так, Землю в рамках локального подхода можно рассматривать как системный объект, а в рамках Солнечной системы — как отдельный элемент, абстрагируясь от ее сложности и структурности. Поскольку объект исследования может расчленяться различными способами, то говорить об элементах можно лишь применительно к данному способу расчленения, к определенной системе.

Каждая система обладает структурой, которая вскрывает характер взаимосвязи, организацию элементов. Понятие структуры выражает устойчивость, инвариантность организации системы, ее сохранение по отношению к внешним и внутренним процессам. Структурные отношения обладают относительной независимостью от элементов, и это позволяет переносить в процессе познания структурные отношения одной системы на другую, сходную с ней.

В системном исследовании выясняется субординация, иерархичность соподчинения подсистем различных порядков организованности, их взаимосвязь. Причем закономерности одних уровней могут в значительной степени отличаться от таковых на других уровнях. Принцип иерархичности не сводится к принципу включения, т. е. к рассмотрению одного уровня элементов, включенного в некоторый более общий уровень. Взаимосвязь элементов в системах такова, что любой элемент любой структуры, которая входит в иерархию, реализует свои новые стороны и свойства не только через механизм той структуры, элементом которой он является, но одновременно и через механизм всех других структур в данной иерархии. Поэтому анализ элемен-

тов и связей любого уровня не может происходить только в своих границах, изолированно, без учета закономерностей других уровней элементов.

В системном подходе различают такие взаимосвязанные аспекты, как субстанциональный, связанный с природой элементов, составляющих систему; организационный, связанный с разнообразием отношений между элементами системы; функциональный, связанный с поведением элементов в системе и системы в более широком системном образовании. Состав, структура и функция представляют собой важнейшие стороны системного объекта и вместе с тем и основные уровни его исследования [77, с. 437—442]. Для полного же изучения объекта следует дополнить эти уровни еще историческим, ибо любая структура есть результат предшествующего исторического развития и содержит в снятом виде свою историю.

Структурный подход к системе предполагает познание типа существенных связей системы, познание способов, при помощи которых элементы системы вступают во взаимоотношения между собой. Структурный подход направлен на раскрытие сущности, причинной обусловленности явлений.

При функциональном подходе абстрагируются от вещественного субстрата системы и от ее внутренней структуры, делая упор на выяснение связей системы со средой. При историческом (генетическом) подходе изучаются связи явления во времени, отдельные этапы развития системы от начальных стадий до конечных.

Системный подход позволяет более четко выделить этапы познания объекта и место в процессе познания исторического подхода, что особенно важно для наук о Земле. Ход познания любого объекта в общих чертах следующий. На первом этапе описываются его внешние формы и свойства, определяется тип системы. От познания объекта как целого знание должно идти к установлению составляющих объект элементов. Выяснив качественный и количественный состав элементов, делают дальнейший шаг — к изучению функции системы. Результатом функционального исследования является создание теории феноменологического уровня. В зависимости от задач системного исследования, от этапа познания элементов можно идти к восстановлению и ис-

тории объекта. Причем она будет также носить феноменологический характер, ибо причина развития генетической смены этапов достоверно не известна. Дальнейший глубокий шаг в познании — раскрытие структуры объекта, его сущности, способа взаимосвязи элементов. Познание структуры доводится, как правило, до математического выражения закона. Пока не найдены внутренние механизмы действия на отдельных уровнях системы, их точные количественные зависимости, говорить о теоретическом этапе их познания невозможно. Знание структуры позволяет достоверно объяснить генезис объекта, его происхождение и развитие. В этом случае история восстанавливается уже на теоретическом уровне, выясняются основные закономерности исторического процесса.

Эта общая схема указывает последовательность отдельных этапов познания и позволяет увидеть те трудности, которые необходимо преодолеть для более полного и эффективного применения системного подхода в геологии.

В связи с тем, что геологические объекты по своей природе сложны, состоят из отдельных элементов, отношения между которыми также дискретны, в геологии господствовал элементаристский подход к их изучению. Он просматривается во многих построениях и сейчас. Считается, что изучение этих составных частей, вне зависимости от использования иных методологических средств, обеспечивает знание целостных образований. При изучении месторождений тех или иных полезных ископаемых устанавливался их состав, взаимоотношения с вмещающими породами, но отношения отдельных элементов этих природных тел, которыми в данном случае являются различные минералы, горные породы, руды разных генераций, не могли быть раскрыты на чисто феноменологической основе. Отношения отдельных элементов не определялись строго в рамках всей совокупности и не выяснялось их отношение к элементам других уровней системы.

Развитие наук о Земле привело к разработке проблемы уровней, когда одни и те же реальные объекты — вещественные ассоциации — стали рассматриваться как совокупности различных элементов: минералов — в минералогии, горных пород — в петрографии, ато-

мов различных элементов — в геохимии; однако эти целостные объекты не осознавались как системы, их выявление не стало основой для разработки вопросов теории системного подхода. Поэтому мы не можем согласиться с мнением Е. А. Куражковской, которая считая, что наличие сложного объекта само обусловливает его системный характер, писала: «Изначально сама объективная специфика изучаемого объекта (его естественноисторический характер) обусловила и основные принципы его познания: принцип системности и принцип историзма в их органической связи друг с другом» [92, с. 227].

Как известно, использование системного подхода тесно связано с математической формой выражения наших знаний, причем одна и та же математическая теория применяется к изучению самых различных систем объектов, если структуры этих систем однотипны. Поэтому для более эффективного применения системного подхода в науках о Земле требуется уточнение и обоснование исходных теоретических положений и формализация основных понятий. Необходим логический анализ категориального базиса наук, создание новых понятий, позволяющих использовать математический аппарат.

Другая трудность в использовании системного подхода в науках о Земле — это недооценка его возможностей и противопоставление генетическому подходу. Выше уже отмечено, что во многих геологических исследованиях выяснению генезиса объектов, их истории придается первостепенное значение. Можно без преувеличения сказать, что генетический подход является господствующим, а некоторые исследователи рассматривают его как единственный и универсальный, «важнейший и необходимейший в геологических исследованиях» [37, с. 133].

В качестве основных в современной геологии выступают положения, сформулированные в XVII—XIX вв. К ним относятся концепции о взаимодействии эндогенных и экзогенных процессов, учение о магме, платформах и геосинклиналях, биостратиграфической корреляции и др. Нам представляется в основном верным высказывание Дж. Бернала о том, что в XX в. не произошло ничего, что могло бы явиться причиной

коренного пересмотра принципов геологии, установленных в XIX в. [28, с. 428]. Так, общий процесс развития земной коры обычно считается результатом взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов или сил. Но эти понятия не вскрывают сущности самих процессов, их внутреннего «механизма» действия. Более того, если их рассматривать по отношению ко всей нашей планете, то и те и другие будут внутренними. С другой стороны, такие экзогенные процессы, как, например, механическое выветривание на поверхности Земли, обусловлено действием внутренних сил Земли — гравитационных, а некоторые глубинные процессы — действием Солнца и Луны. Основанный на таких эмпирических обобщениях и понятиях генетический подход часто не мог установить полную и достоверную картину происхождения и развития геологических объектов. Не случайно многие геологи вынуждены признавать спорность и неясность некоторых теоретических положений.

Генетические положения, опирающиеся на ограниченный фактический материал при отсутствии строгих формальных процедур вывода в силу их общепризнанности зачастую довлеют над новыми данными, заставляют вкладывать их в прокрустово ложе старых схем и положений. Ф. Энгельс как будто специально имел в виду геологию, когда писал: «Насколько скептически подобного рода эмпирия относится к результатам современной научной мысли, настолько же слепо она доверяет результатам мышления своих предшественников. Даже экспериментально установленные факты мало-помалу неразрывно связываются у нее с соответствующими традиционными толкованиями их» [7, с. 456].

Такое преклонение перед генетическим подходом в геологии объясняется тем, что большинство исследователей именно определение генезиса геологического объекта считают залогом его полного изучения и основой эффективных прогнозов. Но, несмотря на кажущуюся очевидность этого вывода, он основан на предубеждении и не доказан теоретически, не подтвержден практически. Достаточно напомнить, что в настоящее время вряд ли есть такой геологический объект, относительно генезиса которого не существовало бы нескольких гипотез. В то же время практическая геоло-

гия пока успешно справляется с задачами обеспечения материального производства полезными ископаемыми.

Мы не отрицаем роль генетического подхода в геологии, его применение закономерно, но задача состоит в том, чтобы выявить его место среди других методов. Последнее нельзя рассматривать как его отрицание — «антигенетическое» направление или «шаг в сторону позитивизма», как это представляется некоторым исследователям [138, с. 476]. Генетический подход не является единственным, и к нему нельзя сводить все геологические проблемы. Следует подчеркнуть, что сама история Земли, последовательность геологических событий выводится из результатов исследования структуры Земли, особенно земной коры.

В современный период развития науки классические методы исследования — описательный, сравнительный, исторический — по-прежнему необходимы, но их значение существенно изменилось, они все больше дополняются, а иногда и оттесняются быстрым развитием новых методов (например, моделирования и эксперимента), основанных на использовании новейших достижений физики, химии, математики.

В этом отношении положение в геологии во многом совпадает с положением в биологии. В биологии в последнее время изучению организации (структуры, функционирования) живых систем придается не меньшее значение, чем вопросам генезиса этих систем, вопросам эволюционной теории. К. М. Хайлов, например, считает, что «факт организованности становится предметом такого же глубокого и пристального внимания, как и факт эволюции два столетия назад. На наших глазах все больше обнаруживается иллюзорность традиционной веры в то, что организованность проще, вторичнее эволюции, что ее можно понять, исходя из факта эволюции, как ее результат» [164, с. 326]. Подобные выводы справедливы и для геологии, хотя они еще не получили в ней широкого распространения.

Необходимость применения системного подхода и невозможность сведения закономерностей одного уровня к закономерностям других уровней можно показать на примере объяснения происхождения и развития рельефа. Считается общепризнанным, что все геоморфологические процессы — результат взаимодействия экзо-

генных и эндогенных сил. И, действительно, образование горных хребтов, прогибов, многих отдельных форм рельефа можно объяснить этим противоречием. Но вряд ли взаимодействием эндогенных и экзогенных сил объясняются все геоморфологические процессы. Так, образование мегаформ рельефа типа континентов, океанов, горных систем почти целиком вызвано действием тектонических (эндогенных) процессов И, с другой стороны, образование многих микроформ рельефа: эоловых дюн, торфяных холмов в зоне вечной мерзлоты, ряда речных террас и т. п. связывается в основном с действием экзогенных сил. Выделение определенных уровней, систем при исследовании рельефа позволит полнее и глубже понять генезис многих его форм.

Чем же вызвано противопоставление генетического подхода системному, допускаемое некоторыми исследователями? Отчасти тем, что не всегда от изучения объектов как динамических и статических систем, вопросов их структуры и функционирования делался переход к изучению их как исторических систем. Во взглядах Ж. Кювье, например, изучение распространения представителей животного и растительного миров в геологических образованиях и их строении уживалось с представлениями об отсутствии эволюционного развития. Да и сами системные исследования чаще ограничивались рамками анализа структуры и функции. Элементы выделялись на основе вычленения определенной совокупности объективно существующих свойств с помощью органов чувств или использования приборов. Это расчленение считалось единственно возможным и окончательным. Горные породы расчленялись на минералы, формации — на фации и т. д.

Естественно, перейти в рамках этих статических систем, представляющих собой множество вполне определенных элементов, к созданию исторических систем не всегда было возможным, ибо последние есть целостность иных элементов. Возможность же представления объектов познания в виде различных систем, неоднозначного способа их расчленения не осознавалась.

Следует отметить, что функциональный, структурный и генетический аспекты системного подхода обладают относительной самостоятельностью. И в зависимости от тех или иных задач на первый план выдвига-

ется тот или иной аспект. При этом некоторыми исследователями недостаточно четко осознавалось диалектическое единство структуры, функции и генезиса объекта, их общность. Как известно, объект любой структуры имеет определенный генезис и, наоборот, история, генезис присущи объекту любой организации [113]. Развитие во времени всегда характеризуется возникновением определенных стадий, этапов, изменениями внутренней структуры развивающегося объекта и места его в более сложной системе, элементом которой он является. И если задача состоит в выяснении генезиса объекта, в исследовании его как исторической системы, то необходимо раскрытие функциональных и структурных особенностей системы. Без этого история объекта остается описанием фактов и расчленением событий на определенную последовательность состояний. В дальнейшем исследователь переходит к анализу внутренних механизмов и основных факторов самого развития, и на первый план выдвигается проблема структуры исторического процесса. Само историческое исследование становится как бы структурным. В этом отношении только непониманием возможностей системного подхода можно объяснить высказывание Г. Л. Поспелова: «Практически позитивизм опасен тупиками, в которые он может завести научное исследование, прежде всего своей склонностью к одностороннему структурному подходу, пренебрежением к генетическому анализу явлений, превращению в фетиш задачи согласования терминов, построения абстрактно-логических схем, функциональных и статистических описаний» [138, с. 476].

Позитивизм, как известно, характеризуется не только и не столько применением абстрактно-логических схем, функциональных описаний и идеализации, сколько тем, что они не связываются с действительностью, за ними не признается объективной значимости. Когда же эти схемы, структуры и понятия рассматриваются как отражение материального мира, тогда нет места никакому позитивизму. Ведь и К. Маркс при исследовании объектов, представляющих собой органичное целое, широко использовал структурные и функциональные их особенности.

Одной из первых попыток применения системного

подхода в геологии являются работы Ю. А. Косыгина и В. А. Соловьева [84, 85]. Эти авторы предлагают выделять в геологических исследованиях три вида систем: статические, динамические и ретроспективные. Каждые из них характеризуются определенным видом связи элементов, принципом и методами исследований.

При статическом направлении изучается строение Земли, последовательность залегания слоев, формы, размеры, состав и взаимоотношения геологических тел и ряд других вопросов, связанных с современным пространственным расположением и состоянием геологических объектов. В статических системах изменение состояния во времени не наблюдается.

Динамическое направление исследует современные геологические процессы (землетрясения, извержения вулканов, деятельность ветра, ледников, текучих вод и т. д.). Эта группа задач сводится к изучению физических процессов, происходящих на Земле и в ее недрах.

Ретроспективное направление занимается вопросами последовательности образования геологических тел и последовательности других событий геологического прошлого. К этому же направлению Ю. А. Косыгиным относятся вопросы генезиса горных пород, полезных ископаемых, тектонических форм, вулканизма и других геологических процессов.

Ретроспективные системы полностью выводятся из результатов исследований статических и динамических систем и представлены только моделями, оригиналы которых — в прошлом. В основе построения и исследования ретроспективных систем лежат историко-геологические принципы, в частности принцип последовательности напластования, принцип унаследованности и принцип (метод) актуализма. Ретроспективные системы подразделяются на три подтипа: исторические, генетические и эволюционные. Слоистые структуры (чисто статические системы) изоморфны историческим системам в том смысле, что те и другие представляют собой структуры, определяемые отношением порядка (упорядоченности), и это позволяет каждую конкретную слоистую структуру при необходимости «переводить» в историческую. Показательно в этом отношении и совпадение стратиграфических подразделений — статических понятий (групп, систем, отделов, ярусов) с геохронологически-

ми подразделениями — историческими понятиями (эры, периоды, эпохи, века). Перевод с языка статики на язык истории производится при помощи принципа актуализма, т. е. ряда гипотез, положенных в основу наших выводов о прошлых процессах по их результатам, сопоставленным с результатами современных процессов.

Оценивая в целом эту попытку использования системного подхода в геологии как важную и перспективную, нам хотелось бы несколько уточнить некоторые положения и сделать ряд замечаний. Почему-то время в ретроспективных системах называется Ю. А. Косыгиным логическим. Оно является реконструируемым, но по данным биологии (палеонтологии) или физики, а не логики. Далее, примеры статических систем — геологические карты и разрезы разного рода — и примеры ретроспективных систем — фациальные карты и разрезы, генетические схемы — представляются одинаковыми, ибо те и другие строятся на основании выделения генетических и возрастных образований.

В контексте необходимо строго определять смысл понятия «генезис». Дело в том, что понятие это многоплановое и употребляется в различном смысле. Генетическое объяснение может быть простым, указывающим на смену состояний объекта, на ряд последовательных изменений, и причинным. В первом случае «генетический» считается синонимом понятия «исторический», а во втором — вскрывается внутренний механизм генезиса, его причина.

В геологии понятие «генезис» четко не определено и под ним понимаются вопросы условий образования объектов и законов их развития, причины их происхождения и становления и многие другие. Смешиваются в генетическом исследовании как исторический, так и причинный подходы. Поэтому третий вид систем Ю. А. Косыгина следует разделить на два подвида систем — исторические и генетические, тем более что эволюционный подтип также не имеет самостоятельного значения и входит в исторический.

При историческом исследовании главное значение будет уделяться вопросам последовательности и отношениям родства, а при генетическом — вопросам выяснения причинно-следственных связей и природы

геологических объектов в тесном взаимодействии с динамическими исследованиями. Об этом, в частности, пишет и Ю. А. Косыгин, когда отмечает, что «результаты этих экспериментов и наблюдений (динамических исследований) при использовании принципа актуализма позволяют строить генетические модели горных пород» [85, с. 25]. Надо отметить, что Ю. А. Косыгин, говоря о трех видах систем, в таблице приводит именно четыре их вида.

В «переводе» статических систем в исторические вряд ли можно опираться на принцип актуализма (отождествления). После всесторонней и вполне обоснованной критики этого принципа и рекомендации применять понятие «актуализм» только к названию метода нет необходимости возвращаться к этому вопросу. Геологические образования как исторические системы реконструируются на основании сравнения и аналогии с изученными современными процессами, и при этом используются определенные установленные законы. Непоследовательность употребления понятия «актуализм» можно увидеть и в самой статье Ю. А. Косыгина, где актуализм определяется им то как метод сравнения (что является, по нашему мнению, правильным), то как система рабочих гипотез [85, с. 24, 26].

Рассматривая эту попытку сформулировать проблему системных исследований, можно отметить, что применение последних для изучения геологических объектов только начинается. Поэтому важно установить основные элементы выделенных систем, их структуру в различных исследованиях, последовательность изучения. Очевидно, первоначально объект изучается как статическая или динамическая системы. После описания его, выделения элементов раскрывается его структура. Как говорит весь опыт современного естествознания и философии, только с раскрытием структуры объектов познается их сущность и наука достигает подлинной зрелости, в то время как описание и эмпирическое обобщение — лишь первые шаги науки. А одна из важнейших задач современной геологии и состоит, по нашему мнению, в выяснении с помощью методов точных наук сущности геологических объектов и их структуры. Большую роль в решении этой задачи может сыграть именно анализ геологических объектов

как сложных иерархически соподчиненных систем разных порядков.

Мы полностью согласны с тем, что системный подход может стать одним из главных в современной геологии. Рассмотрение геологических объектов как целостных природных систем позволяет объединить изучение их вещественного состава, структуры и генезиса [90, с. 94]. Системный подход может быть применен в различных геологических исследованиях: исторических, статических (тектонических, петрографических) и динамических.

Таким образом, исторический метод применяется в геологических науках довольно широко. Это объясняется тем, что выяснение истории природных объектов составляет одну из важных задач некоторых геологических наук. Но многие исследователи не видят специфики и ограниченности исторического метода. Он, однако, не является универсальным и всегда должен дополняться другими методами. В современном познании все большее значение приобретает системный подход. Этот подход не должен противопоставляться историческому методу. Наоборот, системный подход позволяет более четко выяснить место и роль исторического метода как одного из своих аспектов наряду со структурным и функциональным.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Математизация современной науки — одна из основных тенденций ее развития. Вопрос о роли математики исключительно важен в методологическом отношении, ибо вокруг него идет острая борьба материализма и идеализма. В. И. Ленин рассматривал математизацию наук как «крупный успех естествознания, приближение к таким однородным и простым элементам материи, законы движения которых допускают математическую обработку» [11, с. 326]. В то же время он видел один из гносеологических корней «физического» идеализма в математизации физики, когда за уравнениями не видели или не желали видеть объективной реальности, как это случилось с махистами.

Некоторые современные геологи считают, что математизация геологии направлена против господствующего в этой науке генетического метода. Так, Г. Л. Поспелов генетический подход отождествляет с причинным, а математический — с формально-описательным, и в соответствии с этим полагает, что «крайние критики ,,генетизма'' в геологии» делают шаг в сторону позитивизма. Более того, он утверждает, что сторонники использования математики в геологии, пренебрегая генетическим анализом явлений, движутся к идеализму стихийно, не подозревая об этом, ибо «практически отстаивать позитивизм можно, не имея о нем никакого представления» [138, с. 476].

Но отождествление генетического подхода с причинным ошибочно, так как генетический подход, устанавливая связь изучаемых явлений во времени, часто не затрагивает вопрос об источнике, причине этого развития. Кроме того, именно генетический подход в геологии и является описательным, а выводы, получаемые из описательных генетических гипотез, неоднозначны и зачастую противоречивы.

А. В. Бухникашвили также считает, что математизация геологии, предлагаемая сибирскими учеными, «приводит к формализму и идеализму... предложенные авторами ,,математизации'' основные формализованные понятия выражают не реально существующие в природе вещи, а абстракции, созданные в человеческом воображении» [35, с. 150]. На вопросе о том, что любые понятия являются абстракциями, которые нельзя отождествлять с действительностью, мы остановимся в дальнейшем. Сейчас же отметим, что само применение математики никак не связано с идеализмом и не ведет к нему. К идеализму ведет только абсолютизация математики, когда предается забвению материя, отдельные явления объективного мира. Когда же знания об объектах, математические абстракции рассматриваются как отражение объективной действительности, тогда идеализму не остается места.

Нельзя согласиться с Ю. А. Ворониным и Э. А. Егановым тогда, когда они, справедливо выступая против одной крайности — фотографического подхода к познанию действительности, не избегают другой, заявляя: «утверждения об объективном характере добывае-

мых фактов, о том, что мир устроен закономерно, являются не более чем принципами, т. е. положениями, в которые мы верим, но которые невозможно доказать» [45, с. 13]. Здесь видна явная уступка релятивизму, ибо утверждения об объективном характере научного знания действительно принципы — но не веры, а диалектико-материалистической теории познания, доказанными всей историей развития философии и науки.

Вопросы математизации науки относятся к числу актуальных философских проблем. Может ли математика быть применена к исследованию сложных, многообразных (в частности, геологических) процессов? Что дает применение математики в различных отраслях знания? Каковы пути этого применения? Эти и многие другие подобные вопросы встают перед представителями любой науки, стремящейся применять математику. Несмотря на то, что история применения математики в геологии начинается с работ Ч. Лайеля, особенно остро они встали на современном этапе развития геологии, когда встал вопрос о создании теоретической геологии.

Для подлинно научного обоснования применения математики в геологии необходим анализ методологических основ этого применения [117]. Подобный анализ позволит вскрыть недостаточность традиционных методов геологического исследования, покажет возможность и необходимость дополнения их новыми, в том числе математическими, методами, позволит выяснить трудности и препятствия этого применения и пути их преодоления, а также даст возможность доказать несостоятельность доводов противников математизации геологии. Словом, трудно не согласиться с Д. Харвеем, который считает, что «если мы собираемся целенаправленно использовать эти острые орудия (математику и статистику) в научном исследовании, мы должны понимать также и философские и методологические предпосылки, на которые такое использование необходимо опирается» [165, с. 15].

Следует отметить, что методологические вопросы применения математики в геологии разработаны недостаточно. Связано это с общим отставанием разработки методологических проблем наук о Земле. Лишь в книге Ю. А, Воронина и Э. А. Еганова [45] рас-

смотрены вопросы современного состояния применения математических методов и ЭВМ в геологии, установлены причины недостаточной эффективности использования этих методов, выяснены условия, при которых применение математических методов в геологии сможет дать максимальный эффект. Авторы отмечают, что хотя вопросы математизации геологии и стали разрабатываться более интенсивно в последние 10—15 лет, тем не менее многие из них не решены, и пока применение математики не оказало еще существенного влияния на теоретические представления, практику геологоразведочных работ, а также на характер преподавания геологических дисциплин.

Возможность и необходимость математизации геологии

По вопросу о возможности и целесообразности применения математики в геологии существуют две противоположные точки зрения. Одна из них (высказанная С. Н. Бубновым, В. В. Белоусовым, частично С. Ф. Васильченко, А. М. Шурыгиным, А. В. Бухникашвили) — сомнение в целесообразности внедрения математики или отдельных ее разделов в геологию. В качестве аргументов при этом приводятся доводы о «невообразимой» сложности геологических процессов, их специфике и необратимости, о зависимости конечного результата этих процессов от ряда условий, факторов, роль которых часто неизвестна, и т. д. Но эта «невообразимая» сложность геологических процессов относительна, ибо вряд ли процессы, изучаемые физикой элементарных частиц или молекулярной биологией с помощью математики, доступнее и проще, чем геологические. Кроме того, сложность предмета исследования требует и более совершенных, в том числе и математических, методов изучения.

Что же касается специфики геологических процессов, то объект любого исследования специфичен. Уровень и объем применения математических методов определяется не столько его спецификой, сколько уровнем познания, развития науки. На эмпирическом уровне методы математики применяются в ограниченном масштабе, а на теоретическом — их роль возрастает

(на этом вопросе мы подробнее остановимся далее).

По мнению ряда ученых, применению математики в геологии препятствует качественный характер геологических данных. Действительно, качественная оценка тех или иных геологических процессов в настоящее время преобладает. Но это не может служить препятствием для использования математики, особенно таких «неколичественных», «конструктивных» ее разделов, как математическая логика, теория информации, теория групп, топология и др. Математика, действительно, абстрактная наука, но это не означает, что она не может быть использована для исследования качественных особенностей объектов. В любом объекте качество и количество образуют неразделимое единство. Как раз знание количественных сторон объекта и служит одним из условий познания его качественных характеристик. Различные качественные объекты и процессы требуют применения определенных разделов математики. Для расчетов инженерно-геологических задач достаточно эвклидовой геометрии, а для решения проблем космологии требуется риманова геометрия. Современная математика и представляет естественным наукам мощный арсенал различных познавательных методов.

В. В. Белоусов считает, что в геологии вполне достаточно обходиться такими понятиями, как «больше» и «меньше», «сильнее» и «слабее», «раньше», «позже» и «одновременно». Это свидетельствует, по его мнению, не об отсталости геологии, а об особенностях изучаемых ею объектов. В. В. Белоусов уверен, что «математику оказывается недоступной сложность природного явления и внутренняя его нерасчленимость; он упускает из виду, что при всякой попытке расчленить такое явление теряется нечто весьма существенное и искажается природа всего явления» [26, с. 15].

Критика взглядов В. В. Белоусова и поддерживающих его С. Ф. Васильченко и А. М. Шурыгина дана нами в ряде статей [108, 112, 117], и поэтому мы не будем на них останавливаться. Более подробно рассмотрим взгляды А. В. Бухникашвили. Этот исследователь высказывает мнение, что роль математики в разных науках неодинакова и зависит от общности законов изучаемых ими процессов. Признавая огромную роль мате-

матики в физике, А. В. Бухникашвили в геологии отводит ей незначительное место, аргументируя это тем, что физика изучает общие законы природы, характерные для многих процессов, а геология решает лишь «конкретные задачи»: «Те отношения, которые существуют между физикой и математикой, никогда не установятся между рядом отраслей наук и математикой, и геология относится к числу именно таких наук» [35, с. 150].

Такая точка зрения не кажется убедительной. Задачи геологии, по крайней мере, теоретической, состоят в открытии общих законов строения и развития Земли, закономерностей образования природных тел. Отнимать у геологии эти задачи — значит рассматривать ее как частную прикладную науку, значительно сужить ее предмет и перспективы развития. Без развитой теории вряд ли возможно составлять и обоснованные прогнозы на многие полезные ископаемые. Вообще, в современную эпоху трудно найти такую науку, которая бы решала только частные конкретные задачи.

А. В. Бухникашвили считает, что формализовать геологию нельзя и серьезно призывает исследователей «примириться с мыслью, что существуют науки, которые не могут подчиниться общим формализованным понятиям и операциям, поскольку имеют конкретные задачи, требующие конкретного (а не символического) решения. Поэтому рассуждения при помощи общих категорий в этих науках являются абстрактными, формальными и, следовательно, бессодержательными» [35, с. 150]. Выходит, можно лишь посочувствовать бедным физикам, никогда не решавшим «конкретных задач», а имеющим дело только с «символическими». Непонятно только, как же А. В. Бухникашвили объяснит многие открытия, вполне конкретные, сделанные с помощью математики, а затем подтвержденные экспериментально, например открытие позитрона?

Ю. Г. Леонов и В. Н. Шолпо высказывают «сомнения в возможности и в реальной пользе для геологии таких (формальных) построений» [96, с. 79] в силу следующих доводов. «Существует, вероятно, определенная связь между возможностью создания единой системы формализмов и тем обстоятельством, исследует ли данная наука свою собственную форму движения

материи или нет... Безоговорочно принимая, что геология не имеет своей особой формы движения материи и не является фундаментальной наукой... с этих позиций сомнительной представляется возможность построения в ней формализованной системы представлений в том виде, как это предлагают сибирские ученые» [96, с. 80].

Вывод этот нам кажется неубедительным. Что геология не изучает особую форму движения, мы полностью с этими исследователями согласны [105, 109]. Но связывать возможность формализации науки с изучением «собственной» формы движения материи неверно. Ведь в настоящее время более или менее формализованы отдельные разделы физики (отнюдь не вся физика), логики, математики, делаются попытки формализовать некоторые разделы биологии, лингвистики, психологии. Но ни логика, ни математика, ни лингвистика не изучают «свои» формы движения материи.

И. В. Круть пришел к выводу, что в геологии «постулаты теоретического знания, как правило, в принципе не математизируемы и познаются на качественном уровне» [89, с. 4].

Иногда доводом против математизации геологии, дополнения традиционных методов ее математическими методами служит мнение о громадных успехах геологии, достигнутых без применения последних. А. В. Бухникашвили, в частности, пишет, что «геологические науки обладают более чем достаточными теоретическими и практическими достижениями» [35, с. 143].

Вопрос о положении в области теории мы уже рассматривали, а об успехах практической геологии, опирающейся на традиционные методы, скажем следующее. Действительно, эти успехи громадны: создана минерально-сырьевая база страны, в последнее время открыты крупные месторождения железных руд, нефти и газа, золота и др. Однако немаловажно и то, что они сделаны в основном в малоисследованных областях (Дальний Восток, Средняя Азия, Сибирь) или на больших глубинах — это как бы расширение области применения традиционных методов. В геологически хорошо изученных регионах (Урал, Русская платформа)

успехи скромнее, здесь уже сказывается недостаточность, ограниченность традиционных методов, более остро ощущается их малая практическая отдача. Поэтому всемерное внедрение математического аппарата в геологию вызывается не только внутренней логикой ее развития, но и актуальными практическими потребностями.

Противники математизации геологии не видят огромной роли математики в современной науке. Интересно, что исходным основным тезисом А. М. Шурыгина, выступающего против применения формально-логического подхода в геологии, является постулат: «Математика может решать лишь задачи, сводимые к простым моделям» [176, с. 134]. Но это положение неверно по существу и ограничивает применение математики в геологии, препятствует переходу ее на теоретический уровень. Ближе к истине, нам кажется, мнение другого исследователя — А. М. Боровикова, утверждающего, что «методы современной математики (включая математическую логику и кибернетику) применимы для точного и однозначного описания любых объектов любой сложности, изученных как количественно, так и качественно, а также для создания научных языков, точных абстрактных моделей любых сложных процессов, для создания целых теорий и научных направлений и, наконец,— для логической разработки методов построения самих научных теорий и их систем» [29, с. 120]. Еще Г. Галилей отчетливо понимал важность математики для познания законов природы: «Философия написана в грандиозной книге, которая открыта всегда для всех и каждого, я говорю о природе, но понять ее может только тот, кто научился понимать ее язык и знаки, которыми она написана. Написана же она на математическом языке, а знаки ее — математические формулы» [179, с. 223].

Вторая точка зрения на применение математики в геологии отстаивается в работах Ю. А. Воронина, Э. А. Еганова, Ю. А. Косыгина и др. В коллективной работе «Геология и математика» впервые кратко рассмотрены некоторые методологические, теоретические и организационные вопросы применения математических методов в геологии [53]. В этой работе показана возможность применения математики, рассмотрены от-

дельные аспекты этого применения и те результаты, которые могут быть при этом получены. К этому следует добавить, что опыт применения математики в различных областях знания свидетельствует, что математический аппарат, в который входят такие новые средства, как математическая логика, теория вероятностей, теория игр, кибернетика, теория множеств, теория информации, математическая статистика и пр., способен решать весьма сложные задачи. Нам представляется совершенно правильным мнение Г. Клауса: «Аргумент, заключающийся в том, будто то или другое положение вещей не может быть математически описано из-за своей сложности, кажется очевидным, однако он ложен. Практика науки, фактический ход истории науки... показывает, что, напротив, справедливо следующее утверждение: та или иная проблема слишком сложна, чтобы ее можно было решить без помощи математики» [79, с. 233].

В геологии особенно актуально стоит вопрос о переходе к количественной оценке природных процессов, переводе геологических закономерностей на язык цифр и формул и внедрении оперативной автоматической обработки все увеличивающейся геологической информации. Академик А. В. Сидоренко подчеркивает, что «математизация геологии — не дань научной моде, а самая насущная потребность современного развития геологии» [148, с. 24].

Поучительный пример, как из чисто описательной естественноисторической дисциплины выросла современная наука о кристаллах, имеющая прочную математическую основу, дает внедрение математики в кристаллографию. Интересно, что некоторые направления учения о симметрии развивались сначала кристаллографами, а затем математиками.

Принципиальная возможность применения математики для изучения геологических процессов заключается в единстве количественной и качественной их определенности. Качественные особенности объектов всегда связаны с их количественными характеристиками. К тому же сущность геологических процессов — физическая или химическая. Несмотря на то, что любой природный процесс не исчерпывается сущностью — он богаче, шире ее — основа его в той или иной мере

отражается законами точных наук, в значительной степени математизированных. Что касается разнообразных условий, в которых происходят геологические процессы и от которых зависит течение и результат последних, то применение стохастических моделей позволяет учитывать большое количество факторов, находящихся в сложной зависимости между собой и не поддающихся раздельной оценке.

Все вышесказанное свидетельствует о том, что внедрение математики в геологию не только возможно, соответствует общему развитию естествознания, но и актуально, и необходимо. Мнение о невозможности и нецелесообразности использования математики в геологии неверно, оно порождено вчерашним днем науки. Это, естественно, не означает, что без нее невозможны творческие успехи, что любое применение математики в геологии успешно и оправданно или что оно немедленно даст практические результаты. В применении математики не следует видеть решение всех проблем геологии, но она поможет решить многие из них.

Роль математики на различных этапах развития геологии

Процесс применения математики в любой науке имеет несколько стадий [17]. На первой стадии происходит количественная обработка эмпирических данных, выявление феноменологических зависимостей, математика здесь вспомогательное вычислительное средство. Математическая обработка геологических данных позволяет извлечь более полную и точную информацию из геологического описания, с учетом случайности анализировать объекты исследования. С этой целью используются такие разделы математики, как математическая статистика и теория вероятностей. В настоящее время уже существует свыше шести тысяч работ, связанных с применением вероятностно-статистических методов в геологии. Эта стадия математизации протекает целиком в рамках старой, сложившейся в науке системы понятий и представлений. С помощью вероятностно-статистических методов решаются задачи стохастического моделирования геологических процессов, ана-

лиза парагенезисов и исследования динамических систем [41]. Без математики не обойтись при выяснении связей, особенно функциональных, между геологическими процессами. Так, корреляционный анализ позволяет установить наличие связи, ее силу, выяснить форму связи и исследовать связь между парами компонентов в многокомпонентной системе.

Перспективны и работы по решению геологических задач классификации объектов по комплексу косвенных данных, которые выполняются с помощью ЭВМ. Данный комплекс применим в тех случаях, когда по известному набору признаков требуется определить класс, к которому принадлежат объекты. Так, сибирские ученые создали альбом алгоритмов и программ, в котором собрано более сотни существующих и вновь построенных алгоритмов для решения различных задач обработки геологических данных, а также построены и отлажены отвечающие им программы для ЭВМ М-20. Разработанные алгоритмы и программы нашли широкое применение при решении ряда задач геохимии, литологии, палеонтологии, стратиграфии, геоморфологии, нефтепромысловой и рудной геофизики и т. д. [158].

С помощью математической статистики с использованием ЭВМ решаются и такие задачи, как подсчет запасов, определение оптимальной разведочной сети горных выработок и скважин, оценка перспективности регионов на те или иные полезные ископаемые.

Но применение вероятностно-статистических методов — это только первый этап использования математики в науке, ибо оно не направлено на совершенствование теории объекта, на развитие теоретических представлений. Математика здесь не используется для выяснения сущности природных объектов.

На второй, модельной, стадии математизации науки некоторые объекты выделяются в качестве фундаментальных, а другие «выводятся» из первых. Модельная стадия математизации рано или поздно переходит в третью стадию — создание математической теории. На этих стадиях значительно возрастает эвристическая роль математики. Причем здесь процесс математизации науки происходит сложным путем. И. А. Акчурин справедливо отмечает, что «модельная стадия матема-

тизации научного знания — очень трудный и противоречивый период их развития. Ломка старых, устоявшихся, освященных традициями и авторитетом крупных ученых теоретических концепций, сначала очень робкие, а затем и революционно смелые попытки ввести новые, более глубокие и фундаментальные понятия, нередко изменяющие все наше видение материального мира,— характернейшие черты этой стадии» [17, с. 53]. Именно на этих стадиях применение математики должно привести к разработке новых идей, созданию новых теорий.

Из истории естествознания известно, что на основании математической формы законов природы часто подготавливаются условия для качественно новых обобщений, зачастую противоречащих очевидности. Использование математики здесь возможно только путем совершенствования концептуального аппарата науки, создания формализованного языка. Формализация осуществляется с помощью выделения чисто логической стороны представлений и ее исследования. В результате создаются формальные системы, характеризующиеся наличием алфавита, правил образования и преобразования. В алфавите перечисляются исходные символы системы, из числа которых конструируются все другие объекты системы. Последние носят название формул и задаются при помощи правил образования. Правилами преобразования задаются аксиомы формальной системы и правила вывода. Формализация сводит оперирование образами к оперированию символами по стандартным правилам.

В настоящее время в геологии основными критериями истинности представлений являются так называемый «здравый смысл», как концентрированное выражение предшествующего опыта и знания, «общепринятость», интуиция, пригодные для решения в основном простых задач. Строгие формальные критерии осмысленности суждений в геологии отсутствуют. Именно в этом отношении можно говорить об их формальном несовершенстве. И когда А. В. Бухникашвили настаивает на том, что «совершенно неправильно говорить о низком уровне формальной зрелости геологии как науки, если принять во внимание ее историческое прошлое и вклад в развитие народного хозяйства» [35, с. 147], это только запутывает рассматриваемый вопрос.

Формализация вносит в науку точность и логическую строгость, является мощным средством ее прогресса, знаменуя как бы новый, высший этап развития науки, в которой она используется. Недаром К. Маркс отмечал, что «наука только тогда достигает совершенства, когда ей удается пользоваться математикой» [94, с. 11]. В результате формализации происходит обобщение, концентрация и унификация накопленного эмпирического материала, часто обнаруживаются общности структур различных теорий. Формализация необходима, таким образом, не только для более полного и глубокого использования математических методов и ЭВМ, но и для совершенствования геологических понятий и представлений. Только этот этап применения математики в науке позволяет говорить о ее «математизации», как процессе роста теоретических представлений. Б. В. Гнеденко справедливо отмечает, что «математизация науки состоит... в том, чтобы на базе некоторых исходных точно формулируемых предпосылок делать строгие заключения о тех выводах, к которым приводят эти предпосылки» [58, с. 183].

С использованием формализованного языка геология сможет обеспечить более полное взаимодействие с другими науками о Земле, в частности с геофизикой и геохимией, изучающими те же геологические процессы со стороны их сущности, внутреннего содержания. В этом отношении положение в геологии аналогично положению в других науках, использующих математику: биологии, географии, лингвистике и др.

Особенно остро стоит в современной геологии вопрос об упорядочении информации, количество которой удваивается через каждые 8—10 лет. Это увеличение информации вызвано быстрым развитием аналитических и физических методов исследования, а также необходимостью более глубоко и всесторонне изучать объекты. Наведение логического порядка в этом громадном потоке информации возможно только с помощью формализованных понятий. Построенная с их помощью теория выступает формой концентрации, уплотнения знания, полученного эмпирическим путем. Теория всегда удерживает ценное содержание накопленных знаний и одновременно значительно его сокращает, ибо опирается на выявленную сущность процессов.

Если в современной геологии существует 39 определений понятия «минерал», 112 определений понятия «фация» и 63 определения понятия «формация» [53], и если количество определений в тектонике, например, удваивается в среднем за 7,7 лет, то представляется ясным, что без формализации упорядочить эту терминологию невозможно. Аналогичное положение и в других науках геологического цикла, где язык метафоричен, изобилует сравнениями и аналогиями, синонимами и омонимами, где наблюдается неопределенность, многозначность и субъективность в определении понятий и их употреблении. И. П. Шарапов выделил 14 основных типов логических ошибок в геологических определениях [170, с. 97].

Согласно распространенной в геологии точке зрения понятия науки полностью совпадают с отражаемыми объектами, «соответствуют» им. Так, Ю. Г. Леонов и В. Н. Шолпо указывают, что в геологии многие «понятия соответствуют реально имеющимся объектам... это следует расценивать как успех геологии, и отказаться от них на основании их неполной изученности было бы шагом назад» [96, с. 81]. Это явная ошибка. Любые понятия — абстракции, с определенной долей условности отражающие реальные объекты. Причем понятия отражают действительность не «саму по себе», а «обработанную» с помощью тех или иных категорий, в соответствии с определенными познавательными принципами. Еще Ф. Энгельс критиковал взгляды тех исследователей, которые считали, что понятия непосредственно совпадают с предметами: «Понятие не есть прямо и непосредственно действительность, а действительность не есть непосредственно понятие этой самой действительности» [9, с. 354].

Аналогичную мысль находим у В. И. Ленина: «Познание есть отражение человеком природы. Но это не простое, не непосредственное, не цельное отражение, а процесс ряда абстракций, формирования, образования понятий, законов etc., каковые понятия, законы etc. (мышление, наука = «логическая идея») и охватывают условно, приблизительно универсальную закономерность вечно движущейся и развивающейся природы» [12, с. 163—164]. Конечно же, говорил об этом и Гегель: «Чем больше возрастает доля мышле-

ния в представлении, тем более исчезает природность, единичность и непосредственность вещей... Живая деятельность природы смолкает в тиши мысли. Ее обдающая нас теплом полнота, организующаяся в тысячах привлекательных и чудесных образований, превращается в сухие формы и бесформенные всеобщности, похожие па мрачный северный туман» [51, с. 11].

Подчеркнуть неудовлетворительность этого состояния терминологии особенно необходимо, поскольку некоторые исследователи считают множественность понятий в науке «показателем ее разносторонности и содержательного богатства» [34, с. 6]. Для них главное — это одинаковое понимание понятия. Так, А. В. Бухникашвили прямо заявляет: «В конце концов для всех специалистов (а иногда и неспециалистов) совершенно ясно, что подразумевается под понятием «минерал» и «порода» и какое значение имеет то, что это понимание разные лица выражают разными словами» [34, с. 7]. Но наука не может удовлетворяться только «интуитивным» смыслом понятий. На определенном этапе ее развития этого становится недостаточно и понятия подвергаются уточнению, формализации. А. Эйнштейн по этому поводу писал: «Ученому, занимающемуся конкретными проблемами, чье внимание привлекают лишь частности, подобный анализ покажется излишним, претенциозным и даже смешным. Однако ситуация меняется, когда развитие соответствующей науки требует, чтобы какое-нибудь обычно употребляемое понятие было заменено новым, более точным. Тогда те, кто обращался с понятиями своей науки, не особенно вдаваясь в их смысл, начинают энергично протестовать и жаловаться на революционную угрозу, грозящую духовным благам» [177, с. 29].

При формализации в научном понятии должны быть отражены не только существенные свойства объекта, но и совокупность тех признаков, по которым произведено обобщение. Этим не отрицается значение естественного языка, а подчеркивается его ограниченность, недостаточность. Ссылки на то, что «Капитал» Маркса и ряд других выдающихся работ были написаны на естественном языке [37, с. 131], вряд ли могут оправдать сопротивление формализации геологических понятий и представлений.

Некоторые исследователи полагают, что в геологии неопределенны не понятия, а изучаемые ею процессы. Так, В. Н. Комаров заявляет: «Интенсивное проникновение в геологию математических, физических, химических и других точных методов исследования может создать ситуацию, когда мы за деревьями не будем видеть леса, когда тонкое исследование частностей, отдельных сторон и свойств заслонит от нас сложность и целостность геологических процессов. Геологическая наука потому и располагает «неточными» понятиями, вернее, настолько «неточными», насколько «неточны» те процессы, которые призвана она исследовать» [80, с. 139].

С такими доводами нельзя согласиться. Они, по существу, призывают отказаться от работы по формализации геологических понятий. Ю. А. Воронин и Э. А. Еганов показали, что такие понятия, как фация, парагенезис и формация, широко употребляемые в геологии, не удовлетворяют требованиям современной науки. Они выяснили, что трудности применения этих понятий и видов анализа обусловлены не сложностью самих геологических объектов, а ошибочностью основных методологических посылок и гипотез, на которых строились эти приемы, в частности гипотез о существовании «естественного» и «универсального» представления изучаемых объектов [44, с. 114].

В частности, для уточнения понятий фация, формация и парагенезис необходимо, по мнению Ю. А. Воронина и Э. А. Еганова, прежде всего исходить из общих соображений содержательного и формального характера. Требуется выяснить цели и задачи фациального, формационного и парагенетического анализов; сформулировать геологические понятия, удовлетворяющие современным требованиям, разработанным в теории познания; создать алгоритмические схемы для достижения целей на основе этих геологических понятий [44, с. 114].

Что же касается принципиальной возможности формализации понятий и положений науки, то обратимся к авторитетам в этой области. Так, М. В. Попович отмечает, что «не существует таких сторон мыслительной деятельности, опирающейся на язык, которые в принципе были бы недоступны формальному описанию по

своей «природе». Аргументы в пользу такой недоступности невозможно выдвинуть, не впадая в мистику...» [137, с. 177].

Все это позволяет считать работы по формализации геологического языка наиболее важными и перспективными. И каким бы глубоким содержанием существующие понятия не обладали, их логическая нестрогость, многозначность требует их замены. Трудно не согласиться с Ю. А. Косыгиным и В. А. Соловьевым, когда они говорят, что «чрезвычайная гибкость естественного языка является бичом для ученого. Поэтому омонимию он вынужден рассматривать как патологию, а синонимию — как излишнюю роскошь» [83, с. 161]. Без элиминации понятий, теряющих в новых условиях познавательное значение, не может быть дальнейшего развития науки. При этом желательны различные подходы для выбора тех основных, исходных понятий, из которых могут быть логически выведены остальные понятия.

Единую аксиоматическую систему теоретической геологии пытались создать новосибирские ученые. Они предложили логически стройную систему понятий, исходя из таких основных категорий, как геологическое пространство, геологическое время, геологическая граница, геологическая структура и структурно-вещественная ассоциация. Эта формализованная система должна, по мнению авторов, ограничить возможность произвольных толкований вопросов геологии, дать единую основу для структурных построений [53].

Формальные аксиоматические построения могут использоваться не только на теоретическом, но и на эмпирическом уровне развития науки. Так, сибирские ученые применили аксиоматический метод для классификации месторождений нефти и газа. Были заданы определенные признаки классификации объекта, которые могли быть измерены, а логические связи между признаками определялись системой принимаемых аксиом трех типов: аксиом, обеспечивающих полноту описания; физических аксиом, являющихся теоремами или следствиями из теорем физики; эмпирических аксиом [60, с. 4]. Эта классификация может быть использована, по мнению ее авторов, во-первых, при хранении информации по залежам нефти и газа на перфокартах

и других носителях памяти, т. е. при построении информационно-поисковых систем; во-вторых, при решении различных диагностических задач, связанных с прогнозом нефтегазоносности, качества нефтей и газов, условий разработки и т. п.; в-третьих, для анализа взаимосвязи различных признаков, характеризующих залежь, и выявления эмпирических закономерностей и, в-четвертых, для установления класса залежей по неполным системам признаков. Данную классификацию можно использовать как формальный язык при решении других задач нефтяной геологии [60, с. 178].

Несмотря на очевидные преимущества формализованного языка, процесс формализации геологии происходит сложным, противоречивым способом. Одни исследователи, как мы уже отмечали, отрицают необходимость формализации, другие, не отрицая значения формализации вообще, считают, что геология еще не созрела для формализации. Известно, что для применения математики в науке необходимо развитие как математики, так и науки, стремящейся ее использовать. В частности, в последней должна быть достигнута определенная четкость, однозначность понятий и строгая формулировка задач.

Одним из главных препятствий математизации геологии, по нашему мнению, является стиль мышления наглядными образами — определенные каноны и стандартные представления, определяемые геологической реальностью, парадигмой геологии как науки. Последнюю можно охарактеризовать как гипотетико-генетическую, когда основные положения науки являются гипотезами, а основные задачи и проблемы рассматриваются как генетические [119, 120, 121]. Стиль мышления определяет категориальный аппарат науки и принципы его логического построения. Многие геологи не видят или не желают видеть за формальными понятиями и абстрактными моделями «родные» геологические объекты, символический характер формализованного знания кажется им далеким от действительности. Американский ученый М. Кауфмен прав, говоря, что большинство геологов воспринимает математические символы «как незнакомый иностранный язык», и отбрасывает те статьи, где есть математические формулы [87, с. 27]. Агтерберг и Робинсон связывают труд-

ности использования математики в геологии, во-первых, с природой геологических явлений, во-вторых, с субъективностью, неполнотой геологической информации и, в третьих, со скептическим отношением геологов к математическим методам [178].

Стиль мышления геологов во многом зависит от общей и математической подготовки их в вузе. Пока математика преподается в недостаточном объеме и главное — в отрыве от реальных проблем геологии, не раскрывается ее значение для теоретического совершенствования научного знания. Коренное изменение математической подготовки геологов крайне необходимо, на что уже указывалось в печати [45, 159].

Но и среди сторонников формализации геологии нет единства по вопросу о том, кем и как она должна осуществляться. Одни считают, что формализация должна происходить поэтапно, постепенно охватывая отдельные геологические дисциплины. Другие полагают, что за основу формального понятийного аппарата следует взять наиболее общие понятия и из них вывести все остальные. Третьи убеждены, что следует создать принципиально новую формальную систему понятий, единую для наук о Земле. Так, участники методологических дискуссий в Новосибирске отмечают, что будущая геология должна иметь единый, общий для всех ее разделов, формальный язык, позволяющий строить и описывать абстрактные модели геологических объектов. Более того, задача логического анализа научного языка геологии, выработки нового языка рассматривается как «первейшая и важнейшая» [30, с. 166].

Ю. С. Салин предлагает создать такую формальную систему, которая бы удовлетворяла требованиям логики, но была бы «максимально близкой к существующей, общепринятой геологической системе понятий. Другими словами, надо не строить новую систему, а формализовать старую» [145, с. 38]. «Бережное отношение к этому огромному опыту, формализация, основным критерием которой была бы максимальная близость формализованных понятий к существующим,— все это дало бы возможность резко повысить эффективность математических методов в геологии» [145, с. 39]. По его мнению, формализация должна производиться геологами и начинаться с фундаментальных понятий, постепенно

охватывая и производные. После формализации геологии необходимо определить фундаментальные понятия конкретных геологических наук — стратиграфии, тектоники, литологии и др.

На первый взгляд, такая точка зрения представляется обоснованной и привлекательной, она как бы призвана удовлетворить всех исследователей. С одной стороны, признается необходимость формализации, с другой — провозглашается необходимость учета традиций и опыта геологии. Но эти взгляды не свободны от противоречий и несколько утопичны. Так, Ю. С. Салин отмечает, что большинство понятий, используемых в геологии, не отвечают требованиям формальной логики [145, с. 35]. Да и трудно этого ожидать от системы, которая формировалась стихийно. Не случайно он не приводит примеры тех исходных традиционных геологических понятий, которые можно положить в основу формальной системы. Но главное не в этом. Ю. С. Салин не учитывает, что понятия — это не просто определения объектов исследования, это целые концепции, образующие в совокупности саму систему знания, и оставлять одни из них, элиминировать другие невозможно без перестройки основных положений науки. Развитие науки происходит путем смены относительно замкнутых систем понятий, выражающих содержание новых гипотез, теорий, принципов.

Ряд ленинградских исследователей выражает сомнение в «реальности некой разовой языковой реформы, призванной, с одной стороны, обеспечить обучение геологов строгому языку математики, а с другой — построить средствами этого языка рядом с существующей геологией новую, действительно научную» [61, с. 26]. Признавая современное состояние языка геологии неудовлетворительным, они считают, что «единственно возможный путь коренного совершенствования геологического языка как формы геологической науки пролегает через совершенствование самого знания и методов его выведения как содержания этой науки» [61, с. 35]. «Формализация, во-первых, не может быть всеохватывающей, а всегда локальна, ограничена рамками данного вывода, данной теории, а во-вторых, как и вывод в целом, неосуществима при отсутствии ключевой, исходной геологической идеи, гипотезы» [61,

с. 36]. Развитие языка понимается как «путь эволюционный, который нельзя подменить какой бы то ни было революционной реформой» [61, с. 38].

Признается, следовательно, только эволюционная форма развития языка геологии. Кроме того, подчеркивая служебную функцию языка как «материальной оболочки мысли», как формы выражения знаний, ленинградские ученые недооценивают самостоятельной роли языка, обратного влияния формы на содержание. Но язык не только пассивно отражает новое содержание, он имеет и относительную самостоятельность. На определенном этапе развития науки без формального совершенствования невозможно и содержательное ее развитие. Строгое, дедуктивное знание нельзя выразить с помощью «нестрогих» понятий. И не всегда развитие, совершенствование языка идет вслед за развитием содержания науки, оно может быть и параллельным, и иногда формальное совершенствование языка становится важнейшей задачей развития науки. История науки знает примеры, когда сначала создается формальная система на основе самых общих содержательных представлений, а затем она получает содержательную интерпретацию. Так была создана неевклидова геометрия Н. И. Лобачевским, а также квантовая механика. Возможно, такой путь движения познания применим и в геологии.

О математической геологии

Остановимся несколько подробнее на широко применяемом понятии «математическая геология», а также на вопросе о характере детерминированности геологических процессов. Интересно, что этот вопрос возник в науке именно в связи с ее математизацией — применением различных разделов математики для более глубокого познания природных процессов.

Один из пионеров использования математики в геологии А. Б. Вистелиус считает, что восстановление истории и генезиса геологических процессов происходит в неопределенной ситуации и что выход здесь один — обращение к теории вероятностей. В программной статье он констатирует: «Так как геологические процессы

относятся в основном к категории случайных процессов, то основным объектом исследования математической геологии являются функции распределения вероятностей надлежащим образом выбранных характеристик... Вся ситуация в целом отличается неопределенностью, так как характер процесса заранее не известен, наблюдения производятся над случайными объектами, а расположение точек наблюдений очень часто задается природой, то есть не связано с процессом... Обращаясь к математике, легко увидеть, что большой круг дисциплин этой науки вряд ли может быть привлечен для решения принципиальных задач геологии, так как он основан на принципе детерминизма. Таковы области классического анализа, в широком смысле этого слова (т. е. включая математическую физику), геометрии, математической логики и т. д.» [42, с. 11, 14].

А. Б. Вистелиус противопоставляет случайные процессы детерминированным, что не совсем точно. И случайные, и необходимые процессы относятся к детерминированным, только характер детерминированности в них различен: в одних случаях он носит вероятностный, а в других однозначный характер. При той характеристике геологических процессов, которая дается А. Б. Вистелиусом, создается впечатление об отсутствии в них всякой необходимости, закономерности. Причем случайность якобы присуща как самим природным явлениям, так и процессу их познания. Но в такой ситуации вряд ли геологическому исследованию поможет и теория вероятностей, ибо если характер процесса не имеет закономерности, или последняя неизвестна, то никакой раздел математики не сможет ее установить.

Все это подчеркивание роли случайности необходимо А. Б. Вистелиусу для обоснования вывода, «что математизация может быть достигнута внедрением в геологию теории вероятностей» [с. 15], и доказательства ненужности использования в этой науке других разделов математики. Применение теории вероятностей в геологии, действительно, важно и перспективно, но применение математики в ней, равно как и в других науках, не сводится только к использованию этого раздела многогранного математического аппарата. Использование теории вероятностей в геологии необходимо в первую очередь для извлечения более полной и точной

информации о геологических процессах, и зачастую эта информация не направлена на выявление сущности такого процесса, ибо для этого необходим содержательный анализ гипотетических представлений геологии. А. Б. Вистелиус неоднократно подчеркивает, что подбор материала и его интерпретация должны проводиться геологами. И это не случайно, ибо использование теории вероятностей имеет чисто вспомогательное значение, оно может, например, вскрыть наличие, форму и силу связи между определенными компонентами, но не причину этой связи, ее механизм. По этому поводу Г. И. Рузавин пишет: «О математизации той или иной науки в подлинном смысле можно говорить только тогда, когда математика начинает применяться для построения ее теорий, поиска новых закономерностей, создания точного научного языка» [143, с. 232].

Статистический характер геологических явлений не вызывает сомнений, как верно и то, что большинство объектов эмпирического исследования имеет статистическую природу. Кроме того, рассмотрение динамических закономерностей как условного, предельного варианта статистических закономерностей позволяет говорить об условности их разделения. И, действительно, в физике, например, различные разделы математики играют громадную роль. Они позволяют не только выяснить количественную сторону явлений, но и вскрыть глубокие качественные особенности их. Использование математики в физике дает возможность точно предсказать течение событий и предвидеть новые явления (причем в обоих случаях математика служит изучению как однозначно детерминированных, так и вероятностных процессов). Эвристическая роль математики в создании новых теорий состоит в том, что с ее помощью производятся качественно новые обобщения и математическая дедукция новых законов. Математикой проверяются и теории, претендующие на выявление фундаментальных законов природы [157, с. 328—331]. Не случайно математика для физика уже давно «не только инструмент, с помощью которого он может количественно описать любое явление, но и главный источник представлений и принципов, на основе которых зарождаются новые теории» [63, с. 112].

В реальных условиях изучения геологических яв-

лений статистическая природа их обычно игнорируется, ибо отклонения измеряемых величин ничтожно малы по сравнению с масштабами явлений и последние рассматриваются как динамические. Поэтому при изучении тех или иных геологических процессов необходим конкретный анализ их природы и вопросов применимости динамических и статистических законов. Применяя системный подход к изучению геологических объектов, можно считать, что на различных уровнях системы действуют как динамические, так и статистические закономерности. Даже одно и то же явление, рассматриваемое в различных системах, может быть и случайным, и необходимым.

Следует отметить, что вопрос о характере детерминированности геологических процессов нуждается в глубокой методологической разработке. Мы вполне согласны с мнением И. В. Крутя, что одни геологические процессы могут иметь вероятностную, а другие — однозначно детерминированную природу. Он верно подмечает, что «сам факт образования геологического тела (минерала, горной породы, формации)... зависит от большого числа случайных обстоятельств (изучаемых путем выявления статистических закономерностей). Но видовая и родовая определенность образовавшегося тела в принципе может быть объяснима законами динамического типа» [90, с. 96]. Так, уменьшение температуры в расплаве может быть вызвано многими различными причинами, но оно ведет к однозначному следствию — кристаллизации, которая отражает стремление системы к наиболее низкому термодинамическому потенциалу. Выделять одни причины как случайные, а другие как необходимые нет оснований. И здесь не аргумент ссылки на случайную или закономерную природу самих объектов.

Поэтому, если под математической геологией понимать науку, занимающуюся математическим моделированием геологических процессов, как считает А. Б. Вистелиус, то сводить ее задачи только к применению вероятностно-статистических методов неверно. Этим значительно суживаются громадные возможности математического аппарата, доказанные применением его в физике, биологии и других науках. Применение вероятностно-статистических методов нельзя выдавать за

самостоятельную научную дисциплину (математическую геологию), ибо у нее нет специфического предмета (вряд ли изучение распределения вероятностей случайных величин тех или иных процессов составляет такой предмет) и этой «наукой» не выдвигаются принципиально новые задачи — она направлена исключительно на решение чисто геологических задач. Кроме того, в ней отсутствуют специфические основные понятия — категории и какие-либо новые методы, приемы, способы исследования, на что уже указывалось в нашей печати [16, с. 141; 53, с. 22].

Аналогичная ситуация, например, наблюдается и в географии. Л. Е. Смирнов, говоря о выделении математической географии как самостоятельной научной дисциплины, отмечает, что на первых этапах развития метода это имеет смысл, так как играет защитную роль, предохраняя молодое направление в науке, а заодно и привлекая к нему внимание. Но со временем это выделение становится все менее и менее необходимым и, наконец, превращается в помеху. Если выделенная область решает те же задачи и на том же уровне, что и наука, из которой она выделена, то рано или поздно она должна слиться с этой наукой, стать ее частью или вовсе заменить ее [150, с. 75]. Здесь Л. Е. Смирнов верно указывает на аналогичность задач нового направления и «старой» науки и — это главное — на аналогичность уровней исследования, что, безусловно, препятствует обособлению или выделению нового направления в самостоятельную научную дисциплину.

Вычленение математической геологии в самостоятельную научную дисциплину создает прецедент для «конструирования» и других подобных математических дисциплин. Так, Г. А. Дмитриев и М. С. Потапова «находят целесообразным выделение особого раздела математической геологии...— геометрической геологии» [64, с. 168]. Содержанием этой науки, по их мнению, должно быть применение математических понятий учения о симметрии к решению геологических задач. М. В. Гзовский предлагает выделять еще одну науку — математическую геотектонику, которая в отличие от обычной геотектоники должна всемерно использовать математику. В то же время М. В. Гзовский признает, что математика используется только как дополнитель-

ный прием исследования, «не как замена, а как дополнение к сложившемуся в тектонике арсеналу различных методов исследования» [57, с. 3]. Вряд ли стоит доказывать искусственность выделения подобных «математических» дисциплин.

В заключение следует отметить, что применение математики в геологии возможно и необходимо и по мере ее развития частота использования различных разделов математического аппарата должна возрастать. С его помощью будут решаться все более разнообразные задачи, что ускорит развитие теоретической геологии. Сомнение в возможности и целесообразности применения математики в геологии, которые высказывают ряд исследователей, опровергается и всей историей развития естественных наук.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геологические науки переживают период бурного роста. Делаются открытия, накапливаются новые факты, формулируются эмпирические обобщения. Получены данные о строении дна океанов, составе и возрасте залегающих на нем отложений, о строении океанических хребтов и земной коры до глубины 11 км. Важная для наук о Земле информация стала известна в результате изучения Луны, Венеры, Марса. Но несмотря на быстрое увеличение фактического материала основная наука о Земле — геология — находится еще на эмпирической стадии и развивается относительно медленно, что привело к отставанию ее от смежных наук.

Парадигму современной геологии по преобладающей цели исследования и степени достоверности знания следует считать гипотетико-генетической, а общий уровень развития геологии — эмпирическим [119, 120]. Переход к теоретическому уровню развития науки выдвигает на первый план необходимость решения основных методологических вопросов. Подобные же вопросы порождаются такими тенденциями развития геологии, как быстрый рост количества информации, дифференциация и интеграция знания, его математизация.

Для разработки путей перехода к новой геологической реальности необходим методологический анализ существующей реальности, основных теоретических положений ее, понятийной базы и системы методов исследования. Основное внимание автор уделил именно последней проблеме. Исследованы философские основания применения в геологии таких логических методов, как сравнение и аналогия, а также гипотеза. В литературе подобных специальных работ пока не публиковалось.

Несмотря на то, что эти логические методы достаточно исследованы, выяснены их гносеологические возможности и эвристические достоинства, применение их в отдельных науках имеет определенную специфику, выдвигает нетривиальные проблемы, требующие методологического анализа. Так, например, основная часть теоретических положений геологии суть гипотезы, но специфика гипотез в геологии и путей превращения их в теорию не исследовались. В работе дана классификация геологических гипотез, установлена их специфика, которая заключается в преобладании генетических гипотез, слабой логической разработке их, значительной продолжительности «жизни».

Из общенаучных методов научного познания анализируются такие методы, как наблюдение, эксперимент, моделирование, исторический и математические методы. Применение этих методов в геологии имеет длительную историю, но специфика его исследована недостаточно. Поэтому в работе выясняются гносеологические возможности, достоинства и границы этих методов, а также основные тенденции применения, что ведет к изменению их значения и взаимодействия в системе методов геологического исследования.

Анализ методологии геологического исследования позволил сделать ряд общих выводов о структуре методологии научного познания, ее уровнях, а также о гносеологических возможностях отдельных логических и общенаучных методов.

Разработка методологических проблем геологии имеет для нее огромное значение, позволяет выяснить основные принципы, методы, а также наметить пути ее дальнейшего развития и совершенствования. Это представляется особенно актуальным в связи с усложнением практических задач наук о Земле, необходимостью повышения эффективности научных прогнозов.

В дальнейшем методологическому анализу должны быть подвергнуты и отдельные, частные геологические науки. Необходимо методологически стройное и логически строгое определение объектов и предметов этих наук, их целей и задач, основных методов и способов исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Маркс К., Энгельс Ф.* Святое семейство, или критика критической критики.— Соч., 2-е изд., т. 2.
2. *Маркс К.* Тезисы о Фейербахе. — Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 3.
3. *Маркс К., Энгельс Ф.* Немецкая идеология.— Соч., т. 3.
4. *Маркс К.* Заработная плата, цена и прибыль.—Соч., т. 16.
5. *Маркс К.* Капитал.— Соч., т. 23.
6. *Энгельс Ф.* Анти-Дюринг.— Соч., т. 20.
7. *Энгельс Ф.* Диалектика природы.— Соч., т. 20.
8. *Энгельс Ф.* Материалы к «Анти-Дюрингу».— Соч., т. 20.
9. *Энгельс Ф.* Письмо К. Шмидту от 12 марта 1895 г.— Соч., т. 39.
10. *Ленин В. И.* О смешении политики с педагогикой.— Полн. собр. соч., т. 10.
11. *Ленин В. И.* Материализм и эмпириокритицизм.— Полн. собр. соч., т. 18.
12. *Ленин В. И.* Философские тетради.— Полн. собр. соч., т. 29.
13. *Ленин В. И.* О государстве. — Полн. собр. соч., т. 39.
14. *Ленин В. И.* Еще раз о профсоюзах, о текущем моменте и об ошибках тт. Троцкого и Бухарина.— Полн. собр. соч., т. 42.
15. *Ленин В. И.* О значении воинствующего материализма.— Полн. собр. соч., т. 45.
16. *Абрамович И. И., Груза В. В., Романовский С. И.* К вопросу о «математической геологии».— Советская геология, 1970, № 6.
17. *Акчурин И. А.* Философские основания математизации знания.— В кн.: Современное естествознание и материалистическая диалектика. М.: Наука, 1977.
18. *Асмус В. Ф.* Избранные философские труды. Т. 1. М.: Изд-во МГУ, 1969.
19. *Баженов Л. Б.* Основные вопросы теории гипотезы. М.: Высшая школа, 1961.
20. *Баженов Л. Б.* О гипотезе в естествознании.— Вопросы философии, 1962, № 9.
21. *Баженов Л. Б.* Современная научная гипотеза.— В кн.: Материалистическая диалектика и методы естественных наук. М.: Наука, 1968.
22. *Баженов Л. Б.* Строение и функция естественнонаучной теории. М.: Наука, 1978.
23. *Белозерский А. Н., Медников Б. М.* Что такое чистый эксперимент. М.: Знание, 1969.
24. *Белоусов В. В.* О современном состоянии теоретической геологии.— Природа, 1953, № 2.
25. *Белоусов В. В.* Основные вопросы геотектоники. М.: Госгеолтехиздат, 1962.
26. *Белоусов В. В.* Пути развития наук о Земле.— В кн.: Взаимодействие наук при изучении Земли. М.: Наука, 1964.

27. *Белоусов В. В., Гзовский М. В.* Экспериментальная тектоника. М.: Недра, 1964.
28. *Бернал Дж.* Наука в истории общества. М.: ИЛ, 1956.
29. *Боровиков А. М.* Математизация геологии — ее методик или методологии?— В кн.: Пути познания Земли. М.: Наука, 1971.
30. *Боровиков А. М. и др.* На пути к теоретической геологии.— Вопросы философии, 1976, № 3.
31. *Бранский В. П.* Эвристическая роль философских принципов в формировании физической теории.— В кн.: Эвристическая и прогностическая функции философии в формировании научных теорий. Л.: Изд-во ЛГУ, 1976.
32. *Бубнов С. Н.* Основные проблемы геологии. М.: Изд-во МГУ, 1960.
33. *Будбаева С. П., Пятницын Б. Н.* Эвристические методы и проблема подтверждения в эмпирических науках.— В кн.: Логика и эмпирическое познание. М.: Наука, 1972.
34. *Бухникашвили А. В.* К вопросу о «математизации» геологии.— Изв. АН СССР, сер. геол., 1972, № 1.
35. *Бухникашвили А. В.* Некоторые критические замечания по поводу математизации геологии.— Советская геология, 1972, № 11.
36. *Вассоевич Н. Б.* Источник нефти — биогенное углеродистое вещество.— Природа, 1971, № 3.
37. *Вассоевич Н. Б., Бергер М. Г.* О познании генезиса геологических объектов.— Изв. АН СССР, сер. геол., 1973, № 11.
38. *Вернадский В. И.* Очерки геохимии.— Избр. соч. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1954.
39. *Вернадский В. И.* Биосфера.— Избр. соч. Т. 5. М.: Изд-во АН СССР, 1960.
40. *Виноградов А. П.* Происхождение оболочек Земли.— Изв. АН СССР, сер. геол., 1962, № 11.
41. *Вистелиус А. Б.* Проблемы математической геологии.— Геология и геофизика, 1963, № 7.
42. *Вистелиус А. Б.* Математическая геология.— В кн.: Математическая геология. Л.: Изд. Библ. АН СССР, 1969.
43. *Воронин Ю. А., Еганов Э. А.* О генетическом и агенетическом направлениях в геологии. Новосибирск: ВИНИТИ. Деп. № 3934-72, 1972.
44. *Воронин Ю. А., Еганов Э. А.* Фации и формации. Парагенезис. (Уточнение и развитие основных понятий геологии). Новосибирск: Наука, 1972.
45. *Воронин Ю. А., Еганов Э. А.* Методологические вопросы применения математических методов в геологии. Новосибирск: Наука, 1974.
46. *Высоцкий Б. П.* Возникновение актуализма как научного метода геологии.— В кн.: Очерки по истории геологических знаний. Вып. 8. М.: Углетехиздат, 1959.
47. *Высоцкий Б. П.* Возникновение униформизма и соотношение его с актуализмом.— В кн.: Очерки по истории геологических знаний. Вып. 9. М.: Изд-во АН СССР, 1961.
48. *Высоцкий Б. П.* Проблема актуализма и униформизма и система методов в геологии.— Вопросы философии, 1961, № 3.

49. *Высоцкий Б. П.* Проблемы истории и методологии геологических наук. М.: Недра, 1977.
50. *Гегель.* Соч. Т. I. М.— Л.: Госиздат, 1929.
51. *Гегель.* Соч. Т. II. М.— Л.: Соцэкгиз, 1934.
52. *Гейзенберг В.* Теория, критика и философия.— Успехи физических наук, 1970, т. 102, вып. 2.
53. *Геология* и математика. Новосибирск: Наука, 1967.
54. *Геология* и математика. Новосибирск: Наука, 1970.
55. *Герцен А. И.* Избранные философские произведения. Т. 1. М.: Госполитиздат, 1948.
56. *Гзовский М. В.* Моделирование тектонических процессов.— В кн.: Проблемы тектонофизики. М.: Госгеолтехиздат, 1960.
57. *Гзовский М. В.* Математика в геотектонике. М.: Недра, 1971.
58. *Гнеденко Б. В.* Вопросы математизации современного естествознания.— В кн.: Материалистическая диалектика и методы естественных наук. М.: Наука, 1968.
59. *Гогель Ж.* Основы тектоники. М.: Мир, 1969.
60. *Гольдин С. В., Волков А. М., Гольдина Н. А.* Аксиоматическая классификация залежей нефти и газа и ее применение для описания месторождений Тюменской области. М.: Недра, 1970.
61. *Груза В. В., Жуков Р. А., Ткачев Ю. Р.* Геологический язык: состояние и перспективы совершенствования.— В кн.: Применение математических методов и ЭВМ при поисках и разведке полезных ископаемых. Новосибирск: Изд. ВЦ СО АН СССР, 1977.
62. *Груза В. В.* Методологические проблемы геологии. Л.: Недра, 1977.
63. *Дайсон Ф.* Математика в физических науках.— В кн.: Математика в современном мире. М.: Мир, 1967.
64. *Дмитриев Г. А., Потапова М. С.* Учение о симметрии как общий метод познания закономерностей развития Земли.— В кн.: Пути познания Земли. М.: Наука, 1971.
65. *Добриянов В. С.* Методологические проблемы теоретического и исторического познания. М.: Мысль, 1968.
66. *Драгунов В. И., Круть И. В.* Геология и ее положение в естествознании.— Труды ВСЕГЕИ, т. 177, 1971.
67. *Еганов Э. А.* О выделении объектов исследования в геологии.— В кн.: Пути познания Земли. М.: Наука, 1971.
68. *Жарков В. Н., Магницкий В. А.* Эволюция геофизики.— Физика Земли, 1970, № 4.
69. *Жилинский Г. Б.* О значении эксперимента в геологии будущего.— Вестник АН Казахской ССР, 1973, № 9.
70. *Жуков М. М. и др.* Основы геологии. М.: Недра, 1971.
71. *Завадский К. М., Колчинский Э. И.* Эволюция эволюции. Л.: Наука, 1977.
72. *Зубков И. Ф.* О значении познания современного состояния Земли для познания ее истории.— В кн.: Пути познания Земли. М.: Наука, 1971.
73. *Зубков И. Ф.* Методологическое значение принципа самодвижения для геологической теории.— В кн.: Методологические проблемы геологии. Киев: Наукова думка, 1975.

74. *Иванова М. Ф.* Общая геология. М.: Высшая школа, 1974.
75. *Ивашевский Л. И.* Философские вопросы геологии. Новосибирск: Наука, 1979.
76. *Кедров Б. М.* Предмет и взаимосвязь естественных наук. М.: Наука, 1967.
77. *Кедров Б. М.* Энгельс и диалектика естествознания. М.: Политиздат, 1970.
78. *Кириченко И. П.* О геотехнологии как новой науке геологического цикла.— В кн.: Взаимодействие наук при изучении Земли. М.: Наука, 1964.
79. *Клаус Г.* Кибернетика и философия. М.: ИЛ, 1963.
80. *Комаров В. Н.* Философские вопросы науки о Земле. Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 1974.
81. *Конторович А. Э., Луговцов А. Д., Фотиади Э. Э.* Современные подходы к оценке перспектив нефтегазоносности.— В кн.: Применение математических методов и ЭВМ для решения задач нефтяной геологии.— Труды СНИИГГИМС, 1972, вып. 138.
82. *Коржинский Д. С.* Теория процессов минералообразования. М.: Изд-во АН СССР. 1962.
83. *Косыгин Ю. А., Соловьев В. А.* Проблема усовершенствования геологического языка и «математизация» геологии.— Изв. АН СССР, сер. геол., 1967, № 11.
84. *Косыгин Ю. А., Соловьев В. А.* Статические, динамические и ретроспективные системы в геологических исследованиях.— Изв. АН СССР, сер. геол., 1969, № 6.
85. *Косыгин Ю. А.* Методологические вопросы системных исследований в геологии.— Геотектоника, 1970, № 2.
86. *Косыгин Ю. А., Соловьев В. А.* Принцип историзма и тектоника.— Геология и геофизика, 1974, № 5.
87. *Крамбейн У., Кауфмен М., Мак-Кеммон Р.* Модели геологических процессов. М.: Мир, 1973.
88. *Кристальный Б. В.* Научная коммуникация в геологии.— Изв. АН СССР, сер. геол., 1973, № 1.
89. *Круть И. В.* Исследование оснований теоретической геологии. М.: Наука, 1973.
90. *Круть И. В.* К проблеме построения теоретического знания.— Вопросы философии, 1968, № 7.
91. *Куражковская Е. А.* Диалектическая концепция развития в геологии. М.: Изд-во МГУ, 1970.
92. *Куражковская Е. А., Щербаков А. С., Фурманов Г. Л.* Философские основания геологии.— В кн.: Философские основания естествознания. М.: Изд-во МГУ, 1977.
93. *Лайель Ч.* Основные начала геологии. Т. 1. М., 1866.
94. *Лафарг П.* Воспоминания о Марксе. М.: Политиздат, 1967.
95. *Леонов Г. П.* Историзм и актуализм в геологии.— Вест. МГУ, сер. геол., 1970, № 3.
96. *Леонов Ю. Г., Шолпо В. Н.* О некоторых методологических вопросах применения математических методов в геологии.— Геология и геофизика, 1973, № 4.
97. *Ломоносов М. В.* О слоях земных.— Полн. собр. соч. Т. 5. М.— Л.: Изд-во АН СССР, 1954.
98. *Лучицкий И. В.* О значении эксперимента в геологии.—

В кн.: Проблемы теоретической и региональной тектоники. М.: Наука, 1971.
99. *Ляпунов А. А.* О некоторых особенностях строения современного теоретического знания.— Вопросы философии, 1966, № 5.
100. *Мамыкин И. П.* Аналогия в техническом творчестве. Минск: Наука и техника, 1972.
101. *Масленников М. М.* Методологическое значение сравнения в научном познании. Воронеж: Изд. Воронеж. ун-та, 1968.
102. *Медунин А. Е.* О современных проблемах в области истории и методологии наук о Земле.— В кн.: Пути познания Земли. М.: Наука, 1971.
103. *Менделеев Д. И.* Основы химии. Т. 1. М.— Л.: Госхимиздат, 1947.
104. *Мостепаненко М. В.* Философия и методы научного познания. Л.: Лениздат, 1972.
105. *Назаров И. В.* Существует ли геологическая форма движения материи?— Науч. докл. высш. школы. Философские науки, 1966, № 5.
106. *Назаров И. В.* Ленинская идея развития в современной геологии.— В кн.: В. И. Ленин и естествознание. Свердловск: Изд. Уральск. ун-та, 1970.
107. *Назаров И. В.* О специфике противоречий в геологических процессах.— В кн.: Диалектические противоречия в природе. М.: Наука, 1967.
108. *Назаров И. В.* Некоторые методологические вопросы применения математики в геологии.— Геология и геофизика, 1969, № 9.
109. *Назаров И. В.* О геологической форме движения материи.— В кн.: Философские вопросы геологии. Вып. 3. Свердловск, 1972.
110. *Назаров И. В.* Моделирование в науках о Земле.— Изв. вузов. Геология и разведка, 1972, № 5.
111. *Назаров И. В.* Сущность геологических процессов.— В кн.: Философские вопросы геологии. Вып. 3. Свердловск, 1972.
112. *Назаров И. В.* Методы точных наук и их роль в познании геологических процессов.— В кн.: Философские вопросы геологии. Вып. 3. Свердловск, 1972.
113. *Назаров И. В., Пономарева Н. В.* Структура и процесс развития.— В кн.: Категория структуры в системе философских категорий. Свердловск: Изд. Уральск. ун-та, 1973.
114. *Назаров И. В.* Роль гипотезы как метода научного познания в геологии.— В кн.: Философские вопросы геологии. Вып. 4. Свердловск, 1974.
115. *Назаров И. В.* К вопросу о структуре методологии науки.— В кн.: Проблемы диалектики. Вып. IV. Л.: Изд-во ЛГУ. 1974.
116. *Назаров И. В.* Значение и особенности гипотез в геологических науках.— В кн.: Геоцикличность. Новосибирск: Изд. ИГиГ СО АН СССР, 1976.
117. *Назаров И. В.* Философские (методологические) основы применения математики в науках о Земле.— В кн.: Методология геологических исследований. Владивосток: Изд. ДВНЦ АН СССР, 1976.

118. *Назаров И. В.* Об уровнях методологического анализа конкретнонаучного знания.— В кн.: Диалектика, логика и методология науки. Свердловск: Изд. Уральск. ун-та, 1977.
119. *Назаров И. В.* Парадигма геологии и проблема ее совершенствования.— В кн.: Применение математических методов и ЭВМ при поисках и разведке полезных ископаемых. Новосибирск: Изд. ВЦ СО АН СССР, 1977.
120. *Назаров И. В.* К поиску новой парадигмы в геологии.— В кн.: Логика научного поиска. Свердловск, 1977.
121. *Назаров В. И.* О структуре методологии наук о Земле.— В кн.: Диалектика, логика и методология науки, Свердловск: Изд. Уральск. ун-та, 1978.
122. *Назаров И. В.* Материалистическая диалектика и методы исследования в науках о Земле. Свердловск. Деп. в ИНИОН № 2336, 1978.
123. *Никитин Е. П.* Метод познания прошлого.— Вопросы философии, 1966, № 8.
124. *Никитин Е. П.* Объяснение — функция науки. М.: Наука, 1970.
125. *Новик И. Б., Уемов А. И.* Моделирование и аналогия.— В кн.: Материалистическая диалектика и методы естественных наук. М.: Наука, 1968.
126. *Нюберг И. П.* Схематизация явлений — необходимое условие математизации геологии.— В кн.: Методология геологических исследований. Владивосток: Изд. ДВНЦ АН СССР, 1976.
127. *Овчинников Л. Н.* Аспекты и методы изучения эндогенного рудообразования.— Изв. АН СССР, сер. геол., 1965, № 6.
128. *Овчинников Н. Ф.* Методологическая функция философии в естествознании.— В кн.: Материалистическая диалектика и методы естественных наук. М.: Наука, 1968.
129. *Оствальд В.* Философия природы. Спб., 1903.
130. *Павлов И. П.* Полн. собр. соч. Т. II, кн. 2. М.— Л.: Изд-во АН СССР, 1951.
131. *Павлов И. П.* Лекции по физиологии. М.— Л.: Изд-во АН СССР, 1952.
132. *Панюков П. Н., Перфильева З. Г.* Основы геологии. М.: Недра, 1968.
133. *Пейве А. В., Страхов Н. М., Яншин А. Л.* Некоторые важнейшие задачи в области теоретической геологии.— Изв. АН СССР, сер. геол., 1961, № 10.
134. *Планк М.* Единство физической картины мира. М.: Наука, 1966.
135. *Подкорытов Г. А.* Историзм как метод научного познания. Л.: Изд-во ЛГУ, 1967.
136. *Пойа Д.* Математика и правдоподобные рассуждения. М.: ИЛ, 1957.
137. *Попович М. В.* Философские вопросы семантики. Киев: Наукова думка, 1975.
138. *Поспелов Г. Л.* Проблемы метода познания в геологии.— В кн.: Материалистическая диалектика и методы естественных наук. М.: Наука, 1968.
139. *Поспелов Г. Л.* Введение в кн.: Физико-химическая дина-

мика процессов магматизма и рудообразования. Новосибирск: Наука, 1971.
140. *Пустовалов Л. В.* О путях подхода к изучению и о главнейших задачах исследования осадочных пород и полезных ископаемых.— В кн.: Совещание по осадочным породам. Вып. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1952.
141. *Равикович А. И.* Униформистское учение Лайеля и его исторические корни.— В кн.: Очерки по истории геологических знаний. Вып. 9. М.: Изд-во АН СССР, 1961.
142. *Равикович А. И.* Развитие основных теоретических направлений в геологии XIX века.— Труды ГИН АН СССР, вып. 189, 1969.
143. *Рузавин Г. И.* Методы научного исследования М.: Мысль, 1974.
144. *Рулье К. Ф.* Белемниты.— Вестн. естеств. наук, 1854, № 23.
145. *Салин Ю. С.* К проблеме совершенствования средств геологических исследований.— В кн.: Вопросы методологии в геологических науках. Киев: Наукова думка, 1977.
146. *Севастьянов В. И., Хаин В. Е., Ярмолюк В. А.* Значение космических методов в геологических исследованиях.— Изв. вузов. Геология и разведка, 1973, № 7.
147. *Сивоконь П. Е.* Методологические проблемы естественнонаучного эксперимента. М.: Изд-во МГУ, 1968.
148. *Сидоренко А. В.* Геология — наука будущего. М.: Знание, 1964.
149. *Симкин С. М.* Об идеализации геологических процессов.— Изв. АН СССР, сер. геол., 1964, № 11.
150. *Смирнов Л. Е.* Роль и значение объективных (математических) методов в географических исследованиях.— Вестн. ЛГУ, сер. геол. и географ., № 24, вып. 4, 1966.
151. *Страут Е. К.* О роли аналогии в процессе сравнительного изучения Земли и Луны.— В кн.: Пути познания Земли. М.: Наука, 1971.
152. *Страхов Н. М.* О сравнительно-литологическом направлении и его ближайших задачах.— Бюлл. МОИП, отд. геол., 1945, т. XX, (3-4).
153. *Страхов Н. М.* К литологической дискуссии.— В кн.: К вопросу о состоянии науки об осадочных породах. М.: Изд-во АН СССР, 1951.
154. *Тетяев М. М.* Основы геотектоники. М.— Л.: Госгеолиздат, 1941.
155. *Трусов Ю. П.* Диалектическая концепция развития и принцип закономерности как методологические основы актуализма.— В кн.: Пути познания Земли. М.: Наука, 1971.
156. *Федосеев Н. Н.* Актуальные вопросы взаимодействия философии и естествознания.— В кн.: Философские основания естественных наук. М.: Наука, 1976.
157. *Философия* естествознания. Вып. 1. М.: Политиздат, 1966.
158. *Фотиади Э. Э. и др.* Опыт построения и использования альбома алгоритмов и программ для обработки геологических данных.— Геология и геофизика, 1966, № 10.
159. *Фотиади Э. Э., Лаврентьев М. М., Воронин Ю. А.* О некоторых принципиальных вопросах, связанных с изменением программы математической подготовки студентов

геолого-геофизических факультетов университетов.— Геология и геофизика, 1967, № 3.
160. *Французова Н. П., Павлинов В. Н.* Актуализм и его место в геологических исследованиях.— Изв. вузов. Геология и разведка, 1968, № 3.
161. *Французова Н. П.* Исторический метод в научном познании. М.: Мысль, 1972.
162. *Фролов И. Т.* Очерки методологии биологического исследования. М.: Мысль, 1965.
163. *Хаин В. Е.* Философские вопросы геологических наук на современном этапе их развития.— В кн.: Философские вопросы естествознания. Вып. III. Изд-во МГУ, 1960.
164. *Хайлов К. М.* Проблема системной организованности в теоретической биологии.— Журн. общей биологии, 1963, т. XXIV, № 5.
165. *Харвей Д.* Научное объяснение в географии. М.: Прогресс, 1974.
166. *Хилькевич А. П.* Гносеологическая природа гипотезы. Минск: Изд-во БГУ, 1974.
167. *Чарыгин М. М., Васильев Ю. М.* Общая и историческая геология. М.: Недра, 1968.
168. *Шанцер Е. В.* К методологии историко-геологического исследования. — Геотектоника, 1970, № 2.
169. *Шарапов И. П.* Геологические теории в свете методологии.— В кн.: Геоцикличность. Новосибирск: Изд. ИГиГ СО АН СССР, 1976.
170. *Шарапов И. П.* Логический анализ некоторых проблем геологии. М.: Недра, 1977.
171. *Шатский Н. С.* О сравнительной тектонике Северной Америки и Восточной Европы.— Изв. АН СССР., сер. геол., 1945, № 4.
172. *Шатский Н. С. и др.* К вопросу о периодичности осадкообразования и о методе актуализма в геологии.— В кн.: К вопросу о состоянии науки об осадочных породах. М.: Изд-во АН СССР, 1951.
173. *Шафрановский И. И.* Николай Стенон — кристаллограф, геолог, палеонтолог, анатом. Л.: Наука, 1972.
174. *Швырев В. С.* Неопозитивизм и проблемы эмпирического обоснования науки. М.: Наука, 1966.
175. *Штофф В. А.* Моделирование и философия. М.— Л.: Наука, 1966.
176. *Шурыгин А. М.* К вопросу о значении моделей в геологических задачах.— Советская геология, 1968, № 9.
177. *Эйнштейн А.* Собрание научных трудов. Т. IV. М.: Наука, 1967.
178. *Agterberg F. P., Robinson S. P.* Mathematical Problems in Geology.— Bull. Int. Statist. Inst., 1971, v. 44, N 1.
179. *Galiley G.* Saggiatore.— Opere, t. 6. Firenze, 1890—1900.
180. *Guntau M.* Der Aktualismus in der geologischen Wissenschaften.— Freib. Forschungnshefte, 1967, D., N 55.
181. *Popper K.* The Logic of Scientific Discovery. L., 1959.
182. *Thiergartner H.* Prognose der Beziehungen zwischen Geologie und Mathematik.— Ber. Dtsch. Ges. Geol. Wiss., 1968, № 4.

3

Игорь Васильевич Назаров

МЕТОДОЛОГИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Ответственный редактор
Павел Александрович Шехтман

Утверждено к печати Институтом
геологии и геофизики СО АН СССР

Редактор издательства *Ю. П. Бубенков*
Художник *В. В. Растегаев.* Технический редактор *А. В. Семкова*
Корректоры *Р. К. Червова, Г. И. Шведкина*

ИБ № 23621

Сдано в набор 20.11.81. Подписано к печати 28.05.82. МН-12036. Формат 84×108¹/₃₂. Бумага типографская № 3. Обыкновенная гарнитура. Высокая печать. Усл. печ. л. 9,2. Усл. кр.-отт. 9,5. Уч.-изд. л. 9,9. Тираж 1500 экз. Заказ № 800. Цена 1 р. 50 к.

Издательство «Наука», Сибирское отделение.
630099, Новосибирск, 99, Советская, 18.

4-я типография издательства «Наука».
630077, Новосибирск, 77, Станиславского, 25.